

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Nives Kuhta

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:
Prof. dr. sc. Dorian Marjanović, dipl. ing.

Student:
Nives Kuhta

Zagreb, 2012.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno služeći se stečenim znanjem, te
literaturom navedenom na kraju ovog rada

Posebne zahvale dugujem svom mentoru Prof. dr. sc. Dorianu Marjanoviću te komentorima
Mr. sc. Milanu Stevanoviću i Dr. sc. Danijelu Rohde na pomoći danoj pri odabiru teme, kao i na svim
komentarima koji su bili od neprocjenjive važnosti tijekom pisanja ovog rada.

Posebnu zahvalu dugujem svojim roditeljima
na potpori koju su mi pružili tokom školovanja i tijekom izrade rada.

Zagreb, lipanj 2012.

Nives Kuhta



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Nives Kuhta**

Mat. br.: 0035157450

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

STROJ ZA ČIŠĆENJE SNIJEGA I LEDA

Naslov rada na
engleskom jeziku:

SNOW AND ICE REMOWING MACHINE

Opis zadatka:

Projektirati i konstruirati stroj za čišćenje snijega i leda s površina na kojima se takav posao obavlja ručno. Stroj je namijenjen za čišćenje nogostupa, prilaza obiteljskih kuća, manjih parkirališta, stajališta javnog transporta i sličnih površina.

U okviru rada treba:

Definirati funkcionalne karakteristike stroja obzirom na zahtjeve tržišta.

Koncipirati moguće varijante rješenja.

Definirati kriterije vrednovanja konceptijskih varijanti.

Odabrati i obrazložiti izbor temeljnih odrednica predloženog rješenja proizvoda poštujući tehničke, sigurnosne, ergonomske i ekonomske zahtjeve.

Projektirati i konstruirati stroj. Obrazložiti izbor standardnih sklopova i dijelova te provesti potrebne proračune nestandardnih dijelova.

Opseg konstrukcijske razrade dogovoriti tijekom izrade rada.

Koristiti raspoloživu opremu CADLab laboratorija. Svu dokumentaciju izraditi pomoću računala.

U radu navesti korištenu literaturu, kao i eventualnu pomoć.

Zadatak zadan:

26. travnja 2012.

Rok predaje rada:

28. lipnja 2012.

Predviđeni datumi obrane:

4., 5. i 6. srpnja 2012.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Dorian Marjanović

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Mladen Andrassy

Sadržaj

Popis slika	III
Popis tablica	IV
Popis tehničke dokumentacije	V
Popis oznaka.....	VI
Sažetak	VII
1. Uvod.....	1
2. Opis postojećih uređaja	2
2.1. Prikaz uređaja za čišćenje snijega i leda.....	3
3. Povijest.....	5
4. Opterećenje snijegom.....	7
5. Razvoj proizvoda	9
5.1. Definiranje ciljeva	10
5.2. Funkcijska struktura	14
5.3. Morfološka matrica.....	16
5.4. Koncept 1	21
5.5. Koncept 2.....	23
5.6. Odabir najboljeg koncepta.....	25
6. Detaljna razrada odabranog koncepta	26
7. Proračun	27
7.1. Opterećenje vratila.....	27
7.2. Izbacivanje snijega	28
7.3. Potrebna snaga elektromotora	29
7.4. Akumuliranje električne energije	30
7.5. Punjač	31
7.6. Regulator	32
7.7. Prekidač	33
7.8. Strujni krug	34
7.9. Vratilo	35
7.10. Odabir remenica.....	42
7.11. Ležaj.....	43

7.12.	Nosač elektromotora	45
7.13.	Ručka	50
7.14.	Kotači	54
7.15.	Lopatice.....	54
8.	Prikaz 3D modela.....	55
9.	Upute za upotrebu	57
10.	Smjernice za daljnji razvoj	58
11.	Zaključak	59
Prilozi		60
Literatura		61

Popis slika

Slika 1. Prikaz elektromotorne lopate	3
Slika 2. Prikaz električnog bacača snijega	3
Slika 3. Prikaz jednofaznog motornog bacača	4
Slika 4. Prikaz dvofaznog motornog bacača	4
Slika 5. Puhalice na motornoj kosilici	4
Slika 6. Jull/Leslie rotacijska ralica	5
Slika 7. "Snježni plug", patent br. 18506, koji je podnio Orange Jull	5
Slika 8. Snow Sicard Snowblower	5
Slika 9. Kamion ralica-bacač snijega	6
Slika 10. <i>Blacxbox</i> stroja za čišćenje snijega i leda	14
Slika 11. Prikaz koncepta 1	22
Slika 12. Prikaz koncepta 2	24
Slika 13. Koncept 2	24
Slika 14. Sile koje djeluju na snijeg na lopatici	28
Slika 15. Dimenzije elektromotora	29
Slika 16. Prikaz baterije	30
Slika 17. Prikaz punjača	31
Slika 18. Prikaz regulatora	32
Slika 19. Prikaz odabranog prekidača	33
Slika 20. Karakteristike prekidača [15]	33
Slika 21. Shema spajanja elektroničkih dijelova	34
Slika 22. Vratilo s dimenzijama	35
Slika 23. Prikaz pojedinih presjeka za koje se vrši kontrolni proračun	37
Slika 24. Dimenzije remena	42
Slika 25. Dimenzije uzdužnog nosača motora	45
Slika 26. Dimenzije ručke	50
Slika 27. Odabrani kotač	54
Slika 28. Primjena i izgled TICOR gume	54
Slika 29. Prikaz modela	55
Slika 30. Fotomontaža stroja za čišćenje snijega i leda u okolini	56
Slika 31. Neke mjere sigurnosti pri upotrebi stroja za čišćenje snijega i leda [21]	57

Popis tablica

Tablica 1. Prosječne gustoće snijega [3]	7
Tablica 2. Opterećenje snijegom iznad 100 m [4].....	8
Tablica 3. Tehnički upitnik za definiranje cilja razvoja proizvoda	9
Tablica 4. Definicija cilja za razvoj proizvoda.....	12
Tablica 5. Glavne potrebe korisnika.....	13
Tablica 6. Prikaz odabranih rješenja iz morfološke matrice za koncept 1	21
Tablica 7. Prikaz odabranih rješenja iz morfološke matrice za koncept 2	23
Tablica 8. Ocjenjivanje koncepata	25
Tablica 9. Željene karakteristike stroja	26
Tablica 10. Detalji motora [11]	29
Tablica 11. Karakteristike modela [11]	29
Tablica 12. Karakteristike baterije [12].....	30
Tablica 13. Karakteristike punjača [13]	31
Tablica 14. Karakteristike regulatora [14].....	32
Tablica 15. Detaljan opis regulatora [14]	32
Tablica 16. Oznaka remena prema [16]	42
Tablica 17. Karakteristike ležaja	43
Tablica 18. Karakteristike cijevi [18].....	50
Tablica 19. Karakteristike stroja.....	56

Popis tehničke dokumentacije

Naziv dijela	Broj crteža
Stroj za čišćenje snijega i leda	01-12-100
Podložna pločica ručke	06-12-12
Pogonska remenica	06-12-11
Gonjena remenica	06-12-10
Osovina kotača	06-12-09
Držač osovine kotača	06-12-08
Ručka	06-12-07
Lopatica	06-12-06
Nosač spirale	06-12-05
Vratilo	06-12-04
Polica	06-12-03
Uzdužni nosač	06-12-02
Uzdužni nosač motora	06-12-01

Popis oznaka

Oznaka	Jedinica	Opis
V	$[m^3]$	- volumen
l	$[m]$	- širina lopatice
L	$[m]$	- širina čišćenja
F	$[N]$	- sila
φ	$[-]$	- faktor udara
m	$[kg]$	- masa
g	$[m/s^2]$	- ubrzanje gravitacijske sile
T	$[Nm]$	- moment torzije
d	$[mm]$	- promjer
τ_{tDN}	$[N/mm^2]$	- trajna dinamička čvrstoća
P	$[W]$	- snaga
v	$[m/s]$	- brzina vertikalnog hica
ω	$[min^{-1}]$	- kutna brzina
n	$[o/min]$	- broj okretaja
x	$[mm]$	- udaljenost
G	$[N]$	- težina
M	$[Nmm]$	- moment savijanja i uvijanja
β_{kf}	$[-]$	- faktor zareznog djelovanja kod savijanja
β_{kt}	$[-]$	- faktor zareznog djelovanja kod uvijanja
b_1	$[-]$	- faktor veličine strojnog dijela kod savijanja i uvijanja
b_2	$[-]$	- faktor kvalitete površinske obrade
σ_{fDN}	$[N/mm^2]$	- trajna dinamička čvrstoća
σ	$[N/mm^2]$	- naprezanje
S	$[-]$	- sigurnost
h_{bmax}	$[%]$	- učestalost opterećenja
α_0	$[-]$	- faktor čvrstoće materijala
K	$[Ah]$	- kapacitet akumulatorske baterije
I	$[A]$	- jakost struje
t	$[h]$	- vrijeme
C'_1	$[N]$	- dinamička nosivost
f_l	$[-]$	- faktor utjecaja temperature
f_l	$[-]$	- faktor vijeka trajanja
L_h	$[h]$	- željeni vijek trajanja ležaja
ρ	$[kg/m^3]$	- gustoća
h	$[mm]$	- visina
α	$[^\circ]$	- kut
R_m	$[N/mm^2]$	- vlačna čvrstoća
i	$[-]$	- prijenosni omjer
D_1	$[mm]$	- promjer manje remenice
D_2	$[mm]$	- promjer veće remenice

Sažetak

U ovom diplomskom radu projektiran je i konstrukcijski razrađen stroj za čišćenje snijega i leda s površina na kojima se takav posao obavlja ručno. Uz konstrukcijski dio, u radu je naglasak stavljen na analizu razvoja proizvoda. Definirane su funkcionalne karakteristike stroja obzirom na zahtjeve tržišta. Pomoću funkcijske strukture i morfološke matrice odabrana su dva koncepta, od kojih je onaj prikladniji detaljno razrađen i projektiran.

Ciljani korisnici su stanovnici urbanih sredina gdje se javlja problem upotrebe postojećih strojeva. Strojevi dostupni na tržištu, ako su električno pogonjeni, sadrže produžni kabel koji ograničava radijus čišćenja a ako su motorno pogonjeni onda su robusni, teški, glasni i često komplicirani za rukovanje. Prepoznavanjem određenih problema, krenulo se u razvoj stroja koji će korisnici moći lako koristiti iako žive u primjerice neboderu i nemaju mogućnost posjedovanja i skladištenja robusnog stroja ili dovoljno dug kabel kojim bi se električni uređaj napajao. Dodatni zahtjevi bili su: mala masa, male dimenzije, lakoća rukovanja te jednostavno održavanje.

Uz novi stroj, dane su smjernice za daljnji razvoj kojim bi uređaj postao multifunkcionalan te na taj način vodeći na tržištu takvih proizvoda.

1. Uvod

U mnogim mjestima i gradovima, zakoni zahtijevaju čišćenje snijega s javnih površina poput pločnika i ispred kuća. Oni koji to ne učine, ovisno o zakonima, mogu se suočiti s kaznama te mogu biti odgovorni za ozljede sugrađana pri padu na tim neočišćenim mjestima.

Čišćenje (uklanjanje) snijega i leda važna je djelatnost koja čovjeku omogućuje siguran boravak izvan kuće. Pojedinač najčešće ručno čisti automobilske prilaze i pješačke kolnike. U područjima s obilnijim padalina, snijeg se obično uklanja lopatama, raznim ručnim verzijama ralica te specijaliziranim uređajima. Uklanjanje snijega lopatom podrazumijeva znatnu količinu fizičkog napora te naprezanje leđa i srca, što može biti opasno pogotovo za starije osobe.

Na područjima gdje oborine nisu obilne, snijeg je moguće očistiti metlom, sličnim kućanskim alatom ili strojevima poput bacača i puhala za snijeg. Jedna od najvećih zamki u zimskom periodu je situacija kada se temperatura zraka kreće oko nule. Tada se na pojedinim lokacijama, zbog specifičnih mikrometeoroloških uvjeta, može stvoriti poledica. Uklanjanje leda je težak posao. Puhala su neučinkovita, lopate mogu puknuti zbog nedovoljne čvrstoće te uvijek postoji rizik od oštećenja kolnika. Nedavni tehnološki napredak je sustav za topljenje snijega koji pločnik grije ugrađenim grijačima te topi snijeg i led nakon nekog vremena. Takvi sustavi su skupi za instalaciju i rad te nisu isplativi u područjima s vrlo niskim zimskim temperaturama i obilnim padalinama.

2. Opis postojećih uređaja

Puhalo za snijeg, odnosno bacač snijega, je stroj za uklanjanje i čišćenje snijega s površina poput kolnika, pločnika, prilaza, parkinga, tramvajskih i sličnih stajališta, školskih dvorišta i sličnih prostora, ispred zgrada, trgovina, itd. Pojam "bacač snijega" često obuhvaća bacače i puhala za snijeg. Međutim, bacač snijega je stroj koji koristi jednu fazu za uklanjanje i "bacanje" snijega, dok puhalo za snijeg koristi dvije faze za uklanjanje i "ispuhivanje" snijega. Strojevi za čišćenje snijega mogu biti pogonjeni električnom energijom ili motorom s unutarnjim izgaranjem. Suprotnost bacačima snijega jest ralica koja gura snijeg s prednje strane, kao i ručne lopate.

Prema konstrukciji postoji pet osnovnih tipova uređaja za čišćenje snijega i leda:



Mala električna puhala, odnosno ručne elektromotorne lopate, ne razlikuju se mnogo od elektromotornih kosa za travu. Puhala su lagana, prenosiva te ne zahtijevaju veliku snagu za rad. Elektromotorna puhala i bacači snijega dostupni su kao jednofazni strojevi pogodni za manje površine i lakše vremenske uvijete. Veći elektromotorni strojevi za čišćenje snijega odgovaraju umjerenim snježnim uvjetima a njihova je prednost jednostavno održavanje. Elektromotorni bacači snijega su jeftina opcija te su ekološki prihvatljivi. Dvofazni strojevi za čišćenje snijega pogonjeni su motorom s unutarnjim izgaranjem zbog veće snage koju takvi pogonski agregati pružaju.

Jednofazni bacači snijega koriste jedan rotor za sakupljanje i izbacivanje snijega kroz odvodni žlijeb. Rotor je obično u obliku dvije ili više zaobljenih plastičnih lopatica koje guraju snijeg prema sredini stroja gdje se nalazi odvodni žlijeb.

Dvofazna puhala za snijeg variraju snagom od nekoliko pa do preko 746 kW (1000 KS). Pojam "dvofazna" znači da postoje dva mehanizma za uklanjanje i čišćenje snijega. Prvi mehanizam je puž a drugi rotor. Puž vodi i usmjeruje snijeg prema rotoru koji potom "ispuhuje" snijeg izvan stroja. Puž je osiguran na osovini puža sa sigurnosnim (škarjastim) vijcima. Ako se neki strani predmet ili led zaglavi u pužu, sigurnosni (škarjasti) vijci su izrađeni tako da se prelome i na taj način zaštite druge dijelove stroja od kvara.

2.1. Prikaz uređaja za čišćenje snijega i leda

Ručna elektromotorna lopata

Ovakvi uređaji idealni su za čišćenje manjih površina ili na područjima sa slabim oborinama. To su strojevi male mase i jednostavni za rukovanje. Neki modeli imaju mogućnost bacanja snijega i do 9 metara daleko, dok se drugi mogu koristiti i u ljetnim mjesecima kao električne metle. Ovi strojevi čiste do 15 cm visine snijega.



Slika 1. Prikaz elektromotorne lopate

Elektromotorni bacači snijega

Prikladni za male i srednje površine umjereno pokrivene snijegom. U usporedbi sa strojevima koji su pogonjeni motorom s unutarnjim izgaranjem, ovakvi električni strojevi su ekonomični te lakši za rad i manevriranje, međutim ograničeni su duljinom vlastitog ili produžnog kabla pa su zbog toga pogodni za kućnu upotrebu. Prednosti su tihi rad, lako održavanje i mogućnost upotrebe na raznim površinama. Čiste do 25 cm visine snijega.



Slika 2. Prikaz električnog bacača snijega

Jednofazna i dvofazna motorna puhala i bacači snijega

Motorna puhala imaju veću masu te su pogodna za korištenje na većim udaljenostima. Ne zahtijevaju izvor električne energije s obzirom da su pogonjena motorom s unutarnjim izgaranjem. Zahtijevaju složenije održavanje od onih električnih, a tu je i cijena goriva koju treba uzeti u obzir. Jednofazna puhala pogodna su za površine srednjih veličina dok se dvofazna puhala koriste na većim površinama. Dvofazni strojevi čiste do 1 m širine i mogu se nositi s grubljim terenima i neasfaltiranim područjima. Budući da puž ne dolazi u dodir sa zemljom mogu se koristiti na šljunčanim prilazima i sličnim površinama. Prednost dvofaznih puhala jest mogućnost razbijanja i uklanjanja leda. Većina dvofaznih puhala imaju najmanje četiri brzine, što je korisno u prevenciji začepljenja. Isto tako, većina modela obično imaju električno pokretanje, kontrolu brzine i pogon na oba kotača. Pogonjeni su s 2-taktnim i 4-taktnim motorom.



Slika 3. Prikaz jednofaznog motornog bacača



Slika 4. Prikaz dvofaznog motornog bacača

Puhalica montirana na traktor ili motornu kosilicu

Ovakav stroj može čistiti do 1,5 m širine. Obično se postavlja na prednji dio traktora ili traktorske kosilice i zapravo rade na isti način kao i dvofazni strojevi za čišćenje snijega i leda.



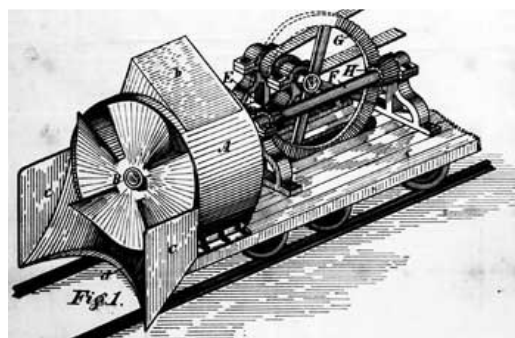
Slika 5. Puhalica na motornoj kosilici

3. Povijest

Prvi dokumentirani "snježni" stroj patentirao je 1869. godine kanadanin J.W. Elliot iz Toronta, međutim stroj nikada nije proizveden. Orange Jull iz Orangeville-a 1884. angažirao je braću Leslie da konstruiraju stroj za čišćenje snijega. Stroj se sastojao od dva ventilatora kojeg je gurala lokomotiva. Međutim, problem su bila stalna začepljenja, stoga se konstrukcija stroja svela na jedan ventilator s oštricama za bacanje snijega, slično današnjim dvofaznim strojevima. Jull je nastavio usavršavati svoje strojeve upotrebom puža, međutim, strojevi nisu bili dovoljno učinkoviti te je izrađeno samo 11 primjeraka. [1]



Slika 6. Jull/Leslie rotacijska ralica



Slika 7. "Snježni plug", patent br. 18506, koji je podnio Orange Jull

Arthur Sicard, kanadski izumitelj koji je inspiriran mlincem za zrna, 1894. počeo raditi na svom prvom bacaču snijega. Njegova motivacija bila je da pomogne poljoprivrednicima jednostavno očistiti snijeg sa svojih polja kako bi se njihove krave mogle hraniti. Trebala mu je 31 godina da završi konstrukciju stroja. 1925. stroj je predstavljen u Montrealu i prigodno je nazvan "*Snow Sicard remover Snowblower*".



Slika 8. Snow Sicard Snowblower

Prvi bacač snijega u osnovi je bio kamion s ralicom i odvodnim žlijebom. Kamion je mogao bacati snijeg 27 metara daleko ili ga skladištiti u stražnjem dijelu kamiona, međutim, bio je previše skup za korištenje drugdje osim u velikim gradovima.



Slika 9. Kamion ralice-bacač snijega

Prve komercijalne bacače snijega izgradila je kanadska tvrtka Toro 1952. koja izrađuje takve strojeve i danas. 1960-ih sve više tvrtki počelo je izrađivati vlastite modele strojeva te su s vremenom bacači postali sve snažniji i lakši za upotrebu. 1970. nastao je prvi osobni bacač snijega kojeg je razvila tvrtka Gibsons i zvao se "*Snow Cannons*" (hrv. "*Snježni topovi*"). Današnji bacači snijega bogato su opremljeni a mnogi proizvođači poduzimaju korake prema "ozelenjivanju" svojih modela u cilju očuvanja okoliša.

4. Opterećenje snijegom

Prije nego što se krene u daljnju razradu stroja za čišćenje snijega i leda, analizirat će se opterećenje snijegom na tlu za područje na kojemu bi stroj trebao čistiti. Snijeg ima izrazito promjenjiv, nepredvidiv i specifičan karakter, što varira ovisno o klimatskim uvjetima pojedinih geografskih regija. Ovisno o geografskim područjima snijeg se zadržava kraće ili dulje vrijeme, a ponegdje gotovo trajno. Pri tome su visina i gustoća snježnog pokrivača glavne veličine. Velike razlike postoje između “vlažnog” i “suhog” snijega te snijega koji se kraće ili dulje zadržava na tlu.

Početne norme u Europi za određivanje opterećenja snijegom DIN 1055, dio 5 iz 1936. godine preporučivale su vrijednost $0,75 \text{ kN/m}^2$ što je većina zemalja brzo prihvatila. To je bio tipičan primjer determinističkog pristupa određivanju opterećenja. Iskustvo je pokazalo da je takvo opterećenje bilo nepouzđano, što su kasnije statističke analize i potvrdile. Pokazalo se da je računsko opterećenje snijegom od $0,75 \text{ kN/m}^2$ u velikom broju regija premalo. Prosječne gustoće snijega prema ENV 1991-2-3:1995 [3] navedene su u slijedećoj tablici.

Tablica 1. Prosječne gustoće snijega [3]

Vrsta snijega	Gustoća [kN/m^3]
Novi snijeg	1,0
Snijeg koji leži više sati ili dana	2,0
Stari snijeg (leži više tjedana ili mjeseci)	2,5 - 3,5
Vlažni snijeg	4,0

Snijeg je uobičajena pojava u većem dijelu Hrvatske iako ima dosta nizinskih panonskih predjela gdje katkada može tijekom cijele zime izostati. Tamo gdje su zimske padaline redovite, njegov udio u ukupnoj količini padalina kreće se između 5 - 20%. Kao i kod količine padalina, tako se i u broju padalinskih dana (dana s padalina) očituje utjecaj reljefa, blizina mora i stupanj kontinentalnosti. Veliko značenje ima i srednje trajanje snježnog pokrivača na tlu. Ono je u većoj mjeri određeno rasporedom temperatura zraka nego trajanjem padanja snijega. Snježni pokrivač najkraće se zadržava u primorju (ako snijeg uopće padne), najčešće samo dan-dva, u Zagori najviše do 10 dana. U najvećem dijelu panonskog područja snježni pokrivač se zadržava na tlu između 10-40 dana.

Opterećenje snijegom na tlo za područje Republike Hrvatske određuje se temeljem područja opterećenja danih na slijedećoj slici i pripadajućih intenziteta za nadmorske visine do 100 m [4] i to:

Područje A	1,10 kN/m ²
Područje B	1,10 kN/m ²
Područje C	0,45 kN/m ²
Područje D	0,35 kN/m ²



Za nadmorske visine iznad 100 m opterećenje snijegom uzima se prema podacima u slijedećoj tablici:

Tablica 2. Opterećenje snijegom iznad 100 m [4]

Nadmorska visina do [m]	Područje A [kN/m ²]	Područje B [kN/m ²]	Područje C [kN/m ²]	Područje D [kN/m ²]
100	1,10	1,10	0,45	0,35
200	1,30	1,40	0,80	0,50
300	1,55	1,75	1,20	0,70
400	1,80	2,20	1,65	0,90
500	2,05	2,65	2,15	1,15
600	2,35	3,15	2,70	2,70
700	2,65	3,70	3,30	3,30
800	2,95	4,25	3,95	3,95
900	3,25	4,90	4,65	4,65
1000	3,60	5,55	5,40	5,40
1100	3,95	6,25	6,20	6,20
1200	4,30	7,00	7,05	7,05
1300	—	7,80	7,95	7,95
1400	—	8,65	8,80	8,90
1500	—	9,50	9,90	9,90
1600	—	10,40	10,95	10,95
1700	—	11,40	12,05	12,05
1800	—	—	13,20	13,20

5. Razvoj proizvoda

Za razvoj konkretnog proizvoda potrebno je izraditi tehnički upitnik i definirati ciljeve. Tehničkim upitnikom stvaraju se granice kojima se usmjerava razvoj te se na taj način sprječava mogućnost prevelikog broja mogućih rješenja koja nisu korisna. Definicija cilja s druge strane govori je li takav proizvod zaista potreban, odnosno da li postoje korisnici koji će ga koristiti.

Tablica 3. Tehnički upitnik za definiranje cilja razvoja proizvoda

TEHNIČKI UPITNIK - ZA DEFINIRANJE CILJA RAZVOJA PROIZVODA	
1. Što je stvarni problem koji treba riješiti?	Čišćenje (uklanjanje) snijega i leda brzo i efikasno.
2. Koja implicitna očekivanja i želje je potrebno uključiti u razvoj?	Jednostavnost korištenja uz što veću korisnost. Korištenje u situacijama gdje nije dostupan priključak na električnu mrežu.
3. Da li su pretpostavljene potrebe korisnika, funkcionalni zahtjevi i ograničenja zaista realni?	Cijene goriva rastu, a istovremeno i briga za očuvanje okoliša. Pretraživanjem internetskih stranica i anketiranjem ustanovljeno je da je interes ljudi za ovakvim proizvodom konstantan.
4. U kojim smjerovima postoje mogućnosti za kreativni razvoj i inventivno rješavanje problema?	Upotreba baterijskih paketa (neograničen radijus rada). Postoji mogućnost dodavanja novih funkcija (npr. košnja trave) modularnim oblikovanjem stroja. Smanjenje cijene proizvoda kako bi stroj bio dostupan većim skupinama korisnika.
5. Ima li limita na kreativnost u razvoju?	Upotreba električne energije kako bi stroj bio što tiši. Energija se mora "skladištiti", a potencijalni gubici zbog vremenskih uvjeta moraju biti minimalni.
6. Koje karakteristike/svojstva proizvod nužno mora imati?	Sigurnost, pouzdanost i što veću iskoristivost. Jednostavnost primjene, instalacije i implementacije u svakodnevnom životu korisnika.
7. Koje karakteristike/svojstva proizvod sigurno ne smije imati?	Ne smije biti prevelik, pretežak, bučan i opasan. Ne smije biti kompliciran za upotrebu.
8. Koji se aspekti razvoja mogu i trebaju kvantificirati u ovom trenutku?	Količina snijega koju stroj treba očistiti. Snaga, analiza tržišta i potrebe kupaca. Geometrijske karakteristike.
9. Da li su razvojni zadaci postavljeni na prikladnoj razini apstrakcije?	Stroj mora primarno čistiti snijeg.
10. Koja su tehnička i tehnološka ograničenja naslijeđena iz prethodnog iskustva sa sličnim proizvodom?	Lopatice koje zahvaćaju snijeg, rješenje izbacivanja snijega, pokretljivost stroja.

5.1. Definiranje ciljeva

Na početku konceptualne faze, konstrukcijski zadatak se definira sukladno prepoznatim potrebama u društvu i stanju na tržištu. Konstrukcijski problem uvijek treba postaviti u određenim granicama. Jedan od najvažnijih ograničenja je cijena: koliko je kupac spreman potrošiti na novi stroj ili što korisnici mogu očekivati od stroja nakon što ga kupe. Druge uobičajene granice mogu biti prihvatljiva veličina ili masa stroja, snaga, eventualne zakonske regulative, ako su potrebne, te sigurnosni zahtjevi. Ovaj skup zahtjeva, odnosno ograničenja, obuhvaća izvedbu specifikacije proizvoda.

1. cilj: Veličina i snaga

Za početak treba ustanoviti kolika će biti veličina stroja, što ovisi o području rada te prosječnoj količini padalina na tom području. Jednofazni bacač dovoljan je za minimalne snježne padaline, dok za dubok snijeg ili velike prostore, dvofazni bacač snijega je bolji izbor zbog veće snage koju može isporučiti.

2. cilj: Faktor buke

Činjenica je da su motorni bacači snijega bučniji od električnih modela. Isto tako dvofazne jedinice su bučnije od jednofaznih. Ovisno o tome koliko buke korisnik i njegovi susjedi mogu tolerirati za vrijeme čišćenja snijega. Prema [5] bacači snijega proizvode buku od 106 dB te pripadaju skupini ekstremno glasnih izvora zvuka. Stalna izloženost zvukovima koji su glasniji od 85 dB može izazvati trajni gubitak sluha.

3. cilj: Težina

Na umu treba imati da su mnogi korisnici bacača upravo starije osobe koje se mogu suočiti s problemom upravljanja i transporta stroja ukoliko je stroj pretežak. Dvofazni motorni bacači mogu težiti i do 300 kg. Iako takvi strojevi imaju motor koji pokreće kotače i dalje je potreban značajan fizički napor pri manipulaciji strojem. Elektromotorni jednofazni modeli mogu se lakše manipulirati i prenositi, međutim trebaju biti dovoljne mase kako bi efikasno uklonili snijeg i led.

4. cilj: Podloga čišćenja

Važno je uzeti u obzir vrstu podloge koja se nalazi ispod snijega: trava, beton, šljunak i sl. Dvofazni modeli bolje podnose šljunčane terene zbog puža koje se može postaviti na različite visine, čime se može izbjeći bacanje šljunka i eventualno ozljeđivanje osoba koje se nađu u blizini. Jednofazni modeli bolje odgovaraju asfaltiranim podlogama te su time bolji izbor za urbana gradska područja.

5. cilj: Gorivo

Općenito, motorni bacači su snažniji ali u obzir treba uzeti cijene goriva i prosječnu potrošnju. Sa strane očuvanja okoliša, motorni bacači su štetniji od električnih zbog štetnih CO₂ emisija. Isto tako, motorni bacači zahtijevaju sezonsku promjenu ulja u pogonskom agregatu što korisnicima može predstavljati problem po pitanju jednostavnosti održavanja stroja.

6. cilj: Dodatna oprema

Mogućnost odabira brzina može omogućiti lakšu manipulaciju bacača. Kroz težak i visoki snijeg idealne su manje brzine. Prednja svjetla su pozitivna opcija u svako doba dana, bilo u ranim jutarnjim ili kasnim večernjim satima. Također, korisnika treba osigurati od nezgoda ukoliko izgubi kontrolu nad strojem, stoga bacač treba imati mehanizam koji će ga zaustavljati od pokretanja i nenadanog gibanja. S obzirom na upotrebu stroja u hladnim vremenskim uvjetima, bacači mogu sadržavati grijane ručke.

Tablica 4. Definicija cilja za razvoj proizvoda

DEFINICIJA CILJA ZA RAZVOJ PROIZVODA	Naziv projekta: Stroj za čišćenje snijega i leda
Opis proizvoda:	
Stroj za čišćenje snijega i leda s površina na kojima se takav posao obavlja ručno. Stroj je namijenjen za čišćenje nogostupa, prilaza obiteljskih kuća, manjih parkirališta, stajališta javnog transporta i sličnih površina.	
Primarno tržište:	
Kućanstva - korisnici različitih dobnih skupina.	
Sekundarno tržište:	
Vlasnici nekretnina koji ne spadaju u gornju skupinu a posjeduju objekt koji se nalazi na poziciji gdje je potrebno čišćenje snijega.	
Koje karakteristike se podrazumijevaju:	
Kvalitetna izvedba – dugi životni vijek. Proizvod mora biti siguran za upotrebu.	
Ciljane grupe korisnika:	
Fizičke i pravne osobe koje trebaju čistiti snijeg.	
Pravci kreativnog razvoja:	
Oblik lopatica, položaj i odnosi između dijelova na uređaju, odabir baterija, odabir materijala. Kompaktna izvedba uređaja. Estetski bitne karakteristike.	
Limiti projekta:	
Buka i masa stroja.	

Vodeći računa o navedenim ciljevima i pravcima razvoja izrađuje se morfološka matrica koja daje pregled mogućih tehničkih rješenja tražene konstrukcije. Izradom morfološke matrice na temelju obavljenog istraživanja postojećih konstrukcija strojeva za čišćenje snijega i leda generirati će se dva koncepta koji će se ocijeniti prema glavnim potrebama korisnika. Glavne potrebe korisnika dobivene su anketiranjem raznih osoba različitih dobnih skupina.

Tablica 5. Glavne potrebe korisnika

Ocjena važnosti	Glavne potreba korisnika
8	Količina očišćenog snijega
7	Cijena nabave takvog uređaja
6	Sigurnost
5	Cijena održavanja
4	Buka ne smije biti visoka
3	Jednostavno korištenje
2	Mogućnost dodatnog (cjelogodišnjeg) korištenja
1	Estetika

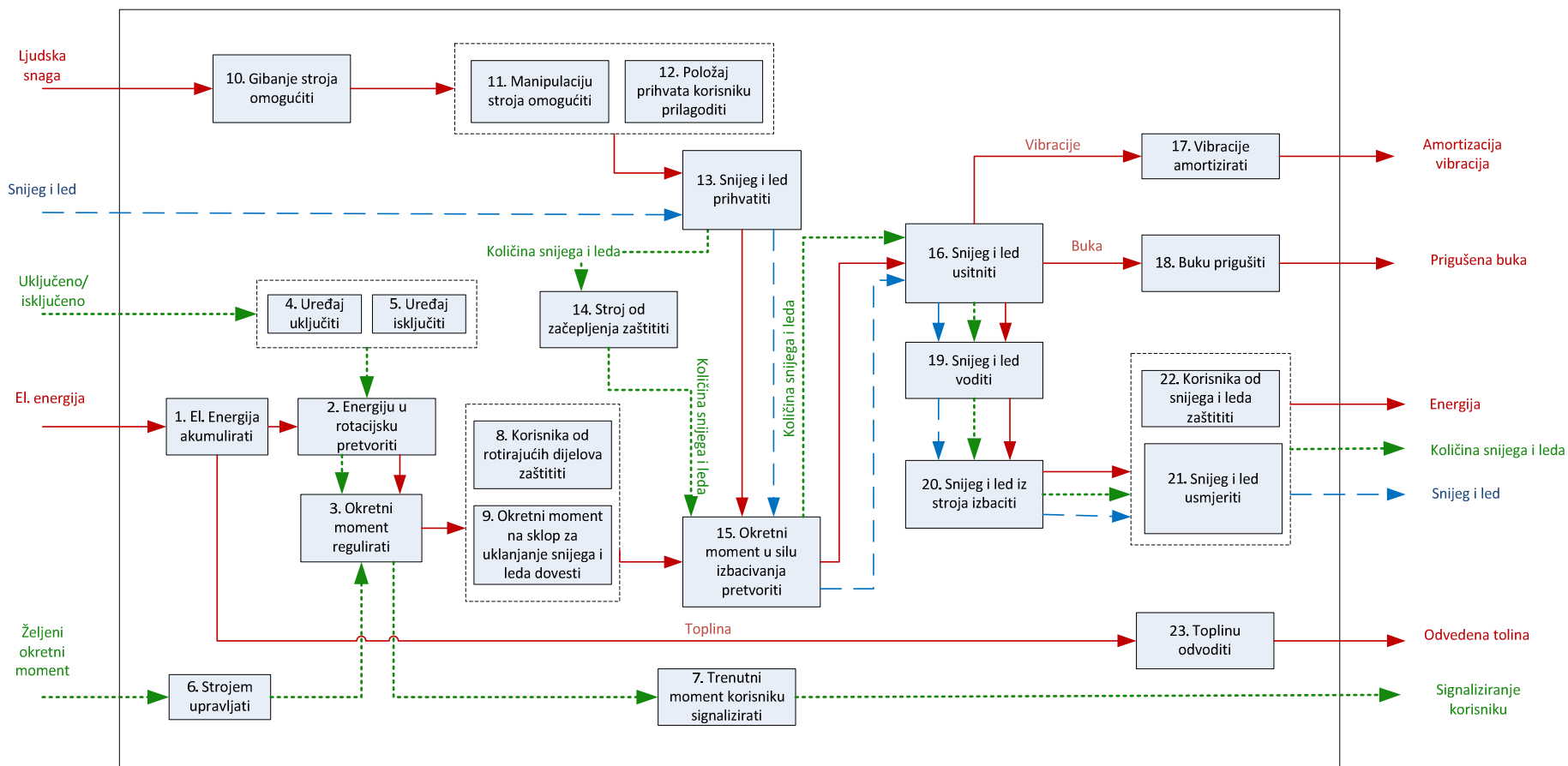
Iz tablice se može zaključiti kako je učinkovitost stroja za čišćenje snijega najvažniji faktor, nadalje vrlo je važna cijena nabave takvog uređaja dok je treća najbitnija stvar sigurnost. Ovakvi rezultati ankete su vrlo logični s obzirom da je svrha uređaja čistiti površine od napadanog snijega, tj. to je osnovna funkcija proizvoda. Cijena je danas neupitan faktor pa tako uvijek ima mjesto na vrhu ljestvice zahtjeva. Potreba za sigurnošću se podrazumijeva i vezana je uz svaki proizvod koji se plasira na tržište. Cijena održavanja utječe na to koji će proizvod netko odabrati a drugi neće, naime inicijalni izdatci su samo početak ulaganja, dok se održavanje može pokazati vrlo nezahvalnim ukoliko proizvod nema lako izmjenjive, dostupne i cijenom prihvatljive rezervne dijelove. Buka je nešto što se izravno povezuje s ovakvim uređajima, stoga nit vodilja treba biti proizvod koji svojim radom neće izaziva neugodan osjećaj za ostale ukućane i okolinu. Ostale potrebe navode se kao poželjne, a to su mogućnost dodatnog korištenja na primjer tijekom cijele godine. Estetika je faktor koji je uvijek poželjan no uglavnom nije presudan za odabir.

5.2. Funkcijska struktura

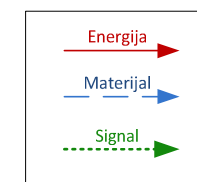
Da bi se izradila morfološka matrica potrebno je znati sve funkcije proizvoda. Funkcije proizvoda određuju se pomoću funkcijske dekompozicije (strukture). Za bolje razumijevanje funkcijske dekompozicije, izrađuje se model *Blackbox-a* koji sadrži ukupnu funkciju i glavne pod-funkcije.











Slika 10. *Blackbox* stroja za čišćenje snijega i leda





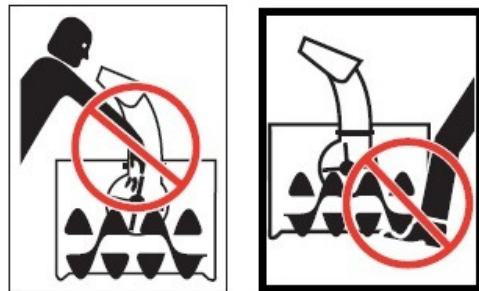
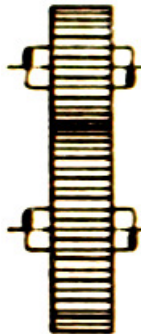

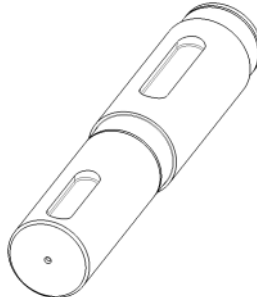
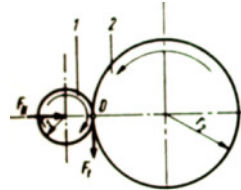
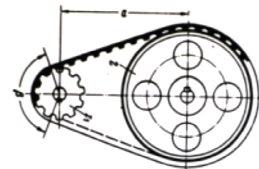




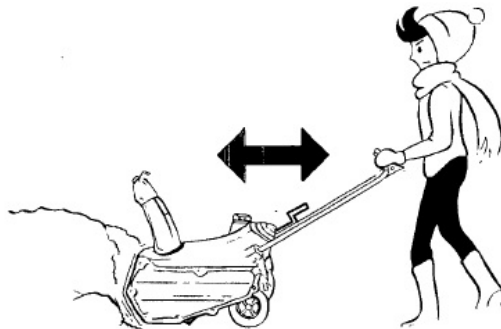
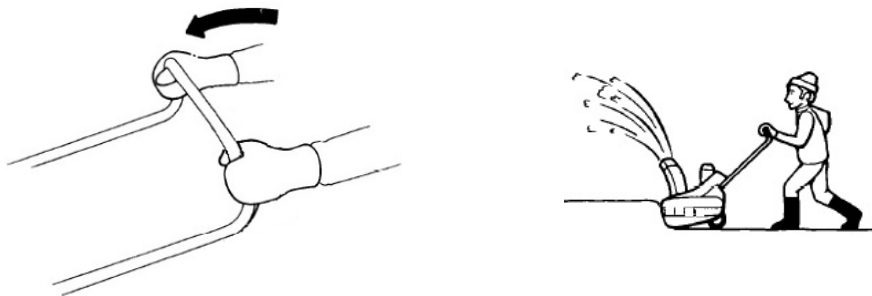
LEGENDA


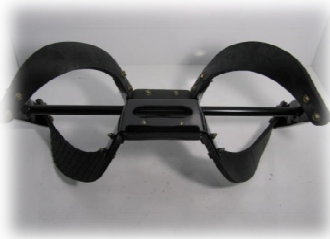




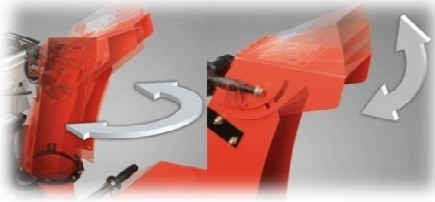

5.3. Morfološka matrica

Br.	Funkcija	Rješenje			
1	Električnu energiju akumulirati	Akumulatorska baterija			
2	Energiju u rotacijsku pretvoriti	Elektromotor za istosmjernu struju		Elektromotor za izmjeničnu struju	
		Sa četkicama	Bez četkica	Sinkroni motor	Asinkroni motor
					
3	Okretni moment regulirati	Mikrokontroler + sklop za regulaciju snage		Procesor + memorija + sklop za regulaciju snage	
4/5	Uređaj uključiti/isključiti	Prekidač/sklopka			
					

6	Strojem upravljati (Odabir brzine rada)					
7	Trenutni moment korisniku signalizirati					
8	Korisnika od rotirajućih dijelova zaštititi	Primarno - oblik stroja	Sekundarno - naljepnica za označavanje opasnosti			
						
9	Okretni moment na sklop za uklanjanje snijega i leda dovesti	Zupčanici	Lančanici	Vratilo	Tarenice	Remenski prijenos
						

10	Gibanje stroja omogućiti	Kotači		Gusjenica	
					
11	Manipulaciju stroja omogućiti	Ljudska snaga			
					
12	Položaj prihвата korisniku prilagoditi				
					
13	Snijeg i led prihvatiti	Lopaticice/puž i vratilo iz jednog dijela	Lopaticice/puž vezan za vratilo zavarom (sa ili bez dodatnih dijelova)	Lopaticice/puž vezan za vratilo oblikom (sa ili bez dodatnih dijelova)	Lopaticice/puž vezan za vratilo vijcima (sa ili bez dodatnih dijelova)

14	Stroj od začepljenja zaštititi	Šuplji oblik izlazne cijevi - žlijeb 		
15	Okretni moment u silu izbacivanja pretvoriti	Lopatice 		Puž + impeler 
16	Snijeg i led usitniti	Suhi snijeg Lopatice		Vlažni snijeg "Nazubljeni" puž
		Prigušivač (amortizer)		Spoj vijcima Spoj zakovicama
18	Buku prigušiti	Oblik kućišta		
19	Snijeg i led voditi	Žlijeb 		
20	Snijeg i led iz stroja izbaciti			
21	Snijeg i led usmjeriti			

22	Korisnika od snijega i leda zaštititi	<p>Rotacija žlijeba</p> 	<p>Spremnik za snijeg i led</p> 
23	Toplinu odvoditi	<p>Akumulatorska baterija - > predaja topline okolini</p> <p>Elektromotor - > prema specifikaciji proizvođača (prisilna cirkulacija zraka – ventilator na osovini; prirodna cirkulacija zraka – rebrasto kućište)</p>	

- ☐ odabir za koncept 1
- ☐ odabir za koncept 2
- ☐ odabir za oba koncepta

5.4. Koncept 1

Tablica 6. Prikaz odabranih rješenja iz morfološke matrice za koncept 1

Način akumuliranja električne energije	Akumulatorska baterija
Pogon	Istosmjerni elektromotor s četkicama
Regulacija stroja	Dodirni zaslon (eng. <i>Touch Screen</i>)
Gibanje stroja	Gusjenicama
Način prihvaćanja snijega i leda	Nazubljeni puž vezan za vratilo vijcima (sa ili bez dodatnih dijelova)

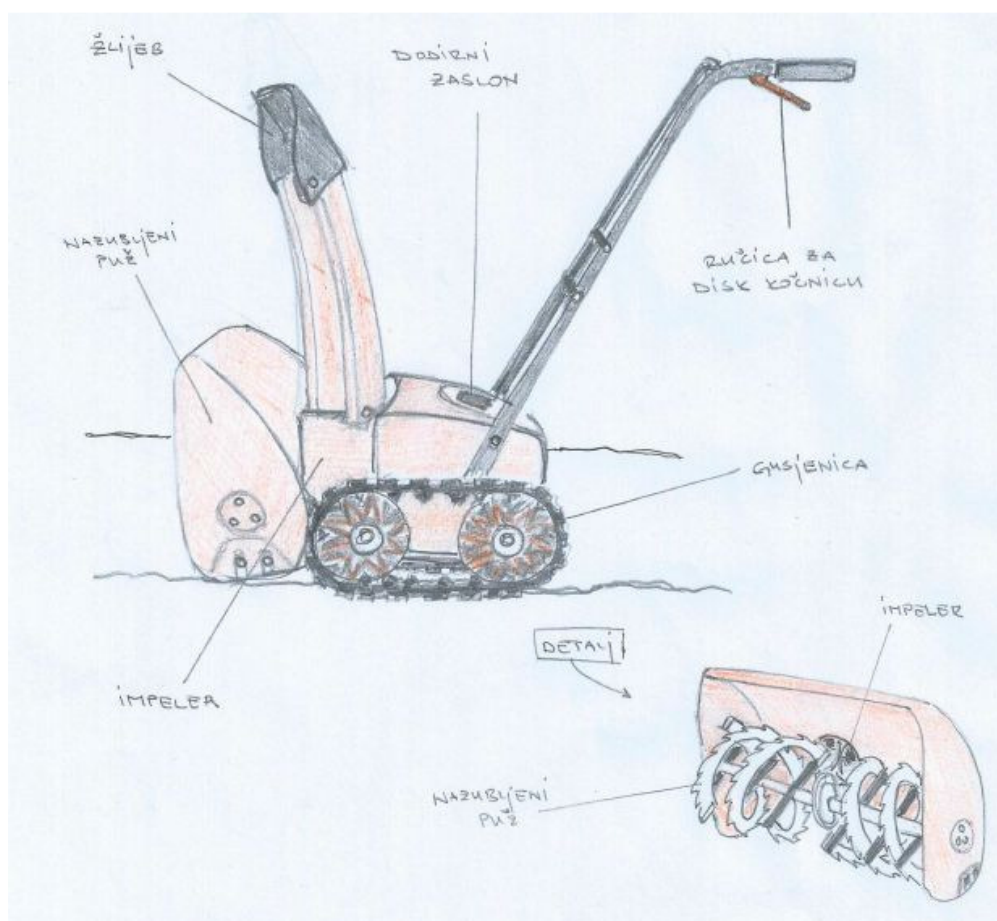
Prednosti:

- Sustav za gibanje kojeg čine gusjenice omogućuju izvrsno prijanjanje stroja na bilo koji tip površine i na snijeg u bilo kojem stanju. Savitljive, nisko-temperaturne gumene gusjenice pružaju idealnu ravnotežu stroja.
- Za prihvaćanje i usmjeravanja snijega i leda prema izlaznom žlijebu služi nazubljen nož koji pritom lomi led.
- Uz standardni prekidač za uključivanje i isključivanje, inovacija stroja bila bi dodirni zaslon. Tehnologija zaslona osjetljivog na dodir jednostavna je za korištenje i održavanje jer se staklo lako čisti. Stroj bi bio opremljen GPS senzornima tako da kroz dodirni zaslon, korisnik dobiva, pomoću programskih aplikacija, informacije o vremenskim uvjetima, satima, temperaturi, vremenu trajanja čišćenja dok u isto vrijeme dodirom odabire brzinu rada stroja ili druge programske opcije.

Nedostaci:

- Dodirni zaslon može postati problem ukoliko korisnik nosi zimske rukavice za vrijeme čišćenja snijega. U tom slučaju ne može se ostvariti kontakt sa zaslonom, a tako niti regulacija stroja. Dodirni zaslone su skupa komponenta zbog kojeg bi kranja cijena proizvoda zasigurno bila visoka.
- Sustav gusjenica komplicirane je konstrukcije, te samim time zahtijevaju dodatno održavanje.

- Nazubljeni puž može biti opasan te zahtjeva dodatnu pozornost kako ne bi došlo do povrede korisnika. U slučaju nepostojanja poledice i leda, ovisno o tipu površine, može doći do oštećenja površine ili puža.
- U slučaju izvedbe konstrukcije s pužem, stroj treba sadržavati impeler koji ispuhuje snijeg, što izvedbu stroja čini skupljom i bučnijom.
- Kada je vanjska temperatura 25 °C, potpuno napunjena baterija raspolaže sa 100% snage za pokretanje stroja. Kada temperatura padne na 0 °C, potpuno napunjena baterija ima dvije trećine snage na raspolaganju. Na -17 °C, potpuno napunjena baterija ima samo 40% snage na raspolaganju za pokretanje stroja. Stoga, ukoliko se ipak odabere upotreba akumulatorske baterija, treba odabrati onu koja će moći raditi u ekstremnim temperaturnim uvjetima za vrijeme zime.



Slika 11. Prikaz koncepta 1

5.5. Koncept 2

Tablica 7. Prikaz odabranih rješenja iz morfološke matrice za koncept 2

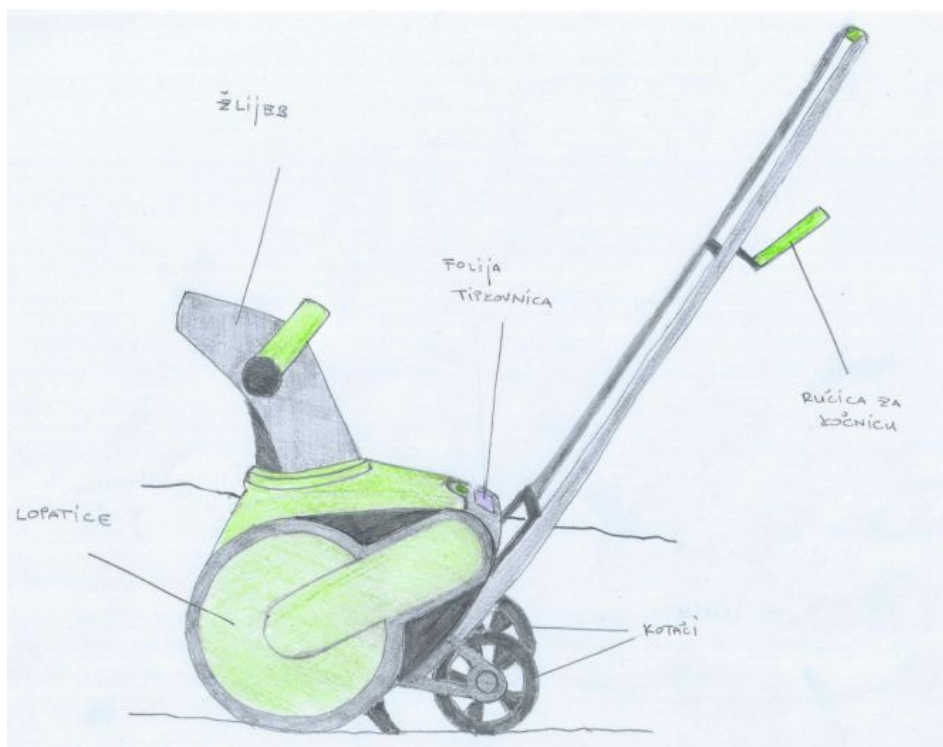
Način akumuliranja električne energije	Akumulatorska baterija
Pogon	Istosmjerni elektromotor bez četkica
Regulacija stroja	Folija tipkovnica (eng. <i>Membrane Keypad</i>)
Gibanje stroja	Kotači
Način prihvaćanja snijega i leda	Lopaticice vezane za vratilo vijcima (sa ili bez dodatnih dijelova)

Prednosti:

- Folija tipkovnica može se koristiti u svim vremenskim uvjetima bez ograničenja.
- Sustav kotača jednostavne je i jeftine konstrukcije s obzirom da se sastoji od osovine, ležajeva i dva kotača. Ovakav sustav ne zahtjeva dodatno održavanje.
- Lopatice su obložene TICOR gumom, što je sigurnija opcije od nazubljenog puža.
- Stroj je jednostavne konstrukcije i zahtjeva manje dijelova stoga je održavanje stroja jednostavno.
- Akumulatorska baterija se može upotrebljavati ostatak godine, kada snijega nema, u drugim proizvodima poput elektro bicikla ili kosilice. Baterija bi uvijek trebala biti u relativno toploj prostoriji kako ne bi izgubila svojstva za rad kasnije. S obzirom da će stroj biti namijenjen kućanstvima, pretpostavka je da će korisnik stroj držati u zatvorenoj prostoriji gdje ne vladaju ekstremni zimski uvjeti. Pravilnim održavanjem, korisnik ne bi trebao imati problema sa strojem.

Nedostaci:

- Ukoliko stroj nema dovoljnu masu, kotači neće potpuno prijanjati na površinu.
- Akumulatorska baterija može izgubiti i do 40% svojstva nepravilnim održavanjem.
- Lopatice su idealne za snijeg ali ne i za led.



Slika 12. Prikaz koncepta 2



Slika 13. Koncept 2

5.6. Odabir najboljeg koncepta

Tablica 8. Ocjenjivanje koncepata

Glavne potreba korisnika	Koncept 1	Koncept 2
Korisnost	9	8
Cijena	4	7
Sigurnost	3	6
Održavanje	4	8
Buka	6	6
Jednostavnost korištenja	7	9
Estetika	5	5

Umnožak ocjena važnosti s ocjenom koncepta svake potrebe daje vrijednost prema kojoj se odabire koncept:

- Koncept 1 = 188
- Koncept 2 = **245**

Odabire se koncept 2 kao najbolji s obzirom na potrebe korisnika. Ovaj koncept najviše konkuriра kada su u pitanju cijena, sigurnost i jednostavnost korištenja. Iako uklanjanje leda nije učinkovito kao kod koncepta 1, lopatice koncepta 2 su jednostavne za izradu i općenito sigurnije od noževa na konceptu 1. Tu je također važan i broj dijelova koji je kod koncepta 1 relativno velik jer se uz puž treba konstruirati rotor (impeler) za ispuhivanje snijega, što povećava troškove izrade. Održavanje koncepta 2 je jednostavno jer su dijelovi lako izmjenjivi a zbog jednostavnosti su lako dostupni jer ne zahtijevaju kompliciranu izradu.

S obzirom na zahtjev da stroj treba biti lagan i tih, ideja motornog bacača na samom početku je odbačena. Nakon što se odredio način pogona, uslijedila je razrada načina izbacivanja snijega. Odluka je donesena u obliku lopatica koje svojim oblikom usmjeravaju snijeg i led prema žlijebu za izbacivanje jer nazubljeni puž može oštetiti površinu čišćenja a i kao uređaj za kućnu upotrebu može biti prilično opasan, pogotovo ako su u kućanstvu i djeca.

6. Detaljna razrada odabranog koncepta

Nakon obrazloženog odabira koncepta daljnjom razradom osmisliti će se konstrukcija koja će zadovoljiti sve navedene funkcionalne zahtjeve. Dodatni zahtjev koji se indirektno postavlja budući da konstrukcija mora biti laka za transport i manevriranje jest masa samog stroja. Sa svim zahtjevima u vidu, razrada počinje određivanjem dimenzija kućišta za lopatice, kako bi se dobila širina masa i volumen snijega koji mora proći kroz stroj.

Tablica 9. Željene karakteristike stroja

Karakteristike	
Visina snijega	Max. 20 cm
Vrsta snijega	Suhi snijeg, umjereno vlažni
Širina čišćenja	30 - 50 cm
Tip površine	Asfalt
Dužina rada	Max. 45 min

Gustoća vlažnog snijega [3] $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$

$$4 \text{ kN/m}^3 = 4000 \text{ N/m}^3 \rightarrow \frac{4000 \text{ N/m}^3}{g} = \frac{4000 \text{ N/m}^3}{9,81} \approx 400 \text{ kg/m}^3$$

Volumen snijega na lopaticama:

$$V = 0,2 \cdot 0,2 \cdot 0,5 = 0,02 \text{ m}^3 \quad (1)$$

Gdje je:

$l = 0,2 \text{ [m]}$ - širina lopatica

$h = 0,2 \text{ [m]}$ - visina snijega

$L = 0,5 \text{ [m]}$ - širina čišćenja

Masa snijega:

$$m_s = V \cdot \rho = 0,02 \cdot 400 = 8 \text{ kg} \quad (2)$$

7. Proračun

7.1. Opterećenje vratila

Vratilo je opterećeno težinom snijega na lopaticama:

$$F = \varphi \cdot m \cdot g = 1,2 \cdot 8 \cdot 9,81 = 94,18 \text{ N} \quad (3)$$

Gdje je:

F [N] - opterećenje na lopatici, odnosno sila koja djeluje na vratilo

$\varphi = 1,2$ [-] - faktor udara [9]

$m = 8$ [kg] - masa snijega

$g = 9,81$ [m/s²] - ubrzanje gravitacijske sile

Moment koji vratilo treba prenijeti:

$$T = F \cdot l = 94,18 \cdot 0,2 = 18,84 \text{ Nm} \quad (4)$$

Gdje je:

T [Nm] – moment torzije

$F = 94,18$ [N] - sila koja djeluje na vratilo

$l = 0,2$ [m] - širina lopatice

Iz izraza (2) slijedi početna dimenzija vratila:

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{T}{0,2 \cdot \tau_{t_{DN}}}} = \sqrt[3]{\frac{18,84 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 210}} = 7,7 \text{ mm} \quad (5)$$

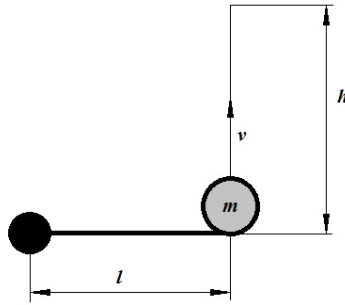
Gdje je:

$\tau_{t_{DN}} = 210$ [N/mm²] - trajna dinamička čvrstoća za materijal vratila Č. 0745 [10]

Odabran je promjer vratila $d = 15$ mm.

7.2. Izbacivanje snijega

S obzirom da će stroj biti namijenjen urbanim sredinama, pretpostavit će se visina izbacivanja snijega od $h = 5$ m, kako ne bi došlo do ozljeđivanja prolaznika ili imovine.



Slika 14. Sile koje djeluju na snijeg na lopatici

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = m \cdot g \cdot h \quad (6)$$

$$v^2 = 2 \cdot g \cdot h = 2 \cdot 9,81 \cdot 5 = 98,1 \rightarrow v = 9,9 \text{ m/s} \quad (7)$$

$$\omega = \frac{v}{l} = \frac{9,9}{0,2} = 49,5 \text{ s}^{-1} = 2970 \text{ min}^{-1} \quad (8)$$

Iz izraza (8) slijedi:

$$n = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = \frac{2970}{2 \cdot \pi} = 472,7 \text{ o/min} \quad (9)$$

Gdje je:

$v = 9,9$ [m/s] - brzina vertikalnog hica

ω [min⁻¹] - kutna brzina

$l = 0,2$ [m] - širina lopatice

n [o/min] - broj okretaja vratila

7.3. Potrebna snaga elektromotora

$$P = T \cdot \omega = T \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} = 18,84 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{472,7}{60} = 932,6 \text{ W} \quad (10)$$

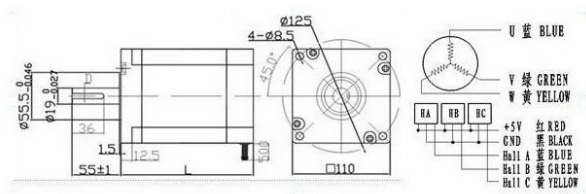
Odabran je 110SW02 DC motor [11] sa slijedećim karakteristikama:

Tablica 10. Detalji motora [11]

Detalji proizvoda:	
Mjesto porijekla	Jiangsu, Kina
Ime	Smart automation
Broj modela	110SW
Primjena	Brodovi, vozila, elektro-bicikli, ventilatori, kućanski aparati, strojevi
Certifikati	CCC, CE, ROHS
Tip	Servo motor
Konstrukcija	Permanentnim magnetom
Komutacija	Bez četkica
Zaštita	Potpuno zatvoren
Upotreba	Univerzalna

Tablica 11. Karakteristike modela [11]

Model	110SW02	
Broj faza	3	
Nazivni napon	V	DC48V, AC110/220
Nazivna brzina	rpm	2000
Nazivni moment	Nm	5
Nazivna snaga	W	1050
Max. moment	Nm	43.7
Konst. moment	Nm/A	0.2
Otpor	Ohm	0.21
Tromost rotora	Kgmm ²	980
Duljina [L]	mm	145
Masa	Kg	6.5

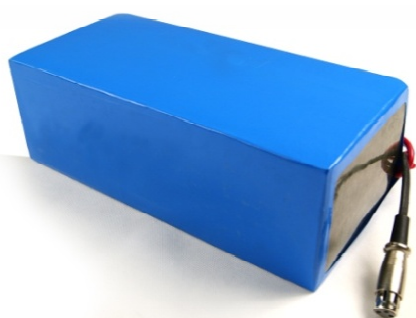


Slika 15. Dimenzije elektromotora

Motor daje potrebnu brzinu vrtnje od 2000 min^{-1} i okretni moment od 5 Nm ali uz odabrani prijenosni omjer remenica pomoću kojeg je motor spojen s vratilom, vratilo se vrti s $\approx 500 \text{ min}^{-1}$ okretaja uz moment 20 Nm.

7.4. Akumuliranje električne energije

Stroj treba imati akumulatorsku bateriju da bi se omogućilo njegovo korištenje u situacijama gdje nije dostupan priključak na električnu mrežu. Baterije možemo razlikovati prema namjeni, vrsti i proizvođaču. Ako govorimo o namjeni postoji nebrojeno mnogo načina korištenja. Od napajanja raznih rasvjetnih uređaja, mehanizama, do drugih proizvoda koji troše male količine energije, ili pak koji koriste baterije za neku vrstu rezervnog napajanja. Za stroj je odabrana baterija 48V 20AH V2,5 LiFePO4 [12] proizvođača PingBattery. Baterija je prikazana na slici 16, a njene karakteristike u tablici 12.



Slika 16. Prikaz baterije

Tablica 12. Karakteristike baterije [12]

Specifikacije
Pogodna snaga motora: do 1200 Watt, 800 Watt preporučeno
Primjena: E-bicikli, Električni motori, E-skuteri
Napon: 48 Volts
Kapacitet: 20 Amp Hours
Dimenzije: 195x210x150 mm / 7.7x8.3x5.9 in
Masa: 9.90 kg / 21.90 lbs
Napon za punjenje: 60-61 Volts
Struja punjenja: <5 Amps
Nazivni napon pražnjenja: 20 Amps
Max. kontinuirani napon pražnjenja: 40 Amps
Maksimalna struja pražnjenja: 60 Amps
"Cut-off" zaštita pražnjenja: 50 Amps
Vijek trajanja cijelog paketa: >85% kapaciteta poslije 1000 ciklusa. Vijek trajanja ćelije: >85% kapaciteta poslije 1500 ciklusa, >70% kapaciteta poslije 3000 ciklusa.

Iz podataka motora poznato je da motor troši 22 A pod opterećenjem. Kapacitet baterije od 20 Ah omogućava da stroj radi malo manje od jedan sat (9).

$$t = \frac{K}{I} = \frac{20}{22} = 0,9 \text{ h} \quad (11)$$

Gdje je:

$K = 20 \text{ [Ah]}$ - kapacitet baterije

$I = 22 \text{ [A]}$ - jakost struje motora pod opterećenjem

7.5. Punjač

Baterija se puni preko 2A punjača za 48V(16s) LiFePO4 paket baterija [13]. Punjač je prikazan na slici 17. Karakteristike punjača dane su u tablici 13.



Slika 17. Prikaz punjača

Tablica 13. Karakteristike punjača [13]

48Volt 2.0Amp LiFePO4 punjač
Specifikacije:
Dimenzije: 150x90x50 mm
Masa: 750g / 1.6 lbs (masa AC napajanja nije uključena)
Sistem punjenja: CC/CV
Ulazni napon: 80-260V AC
Izlazni napon: 60V
Struja rada: 2.0A
Tip DC izlaznog konektora: 3 polni XLR
Promjenjiv 3 polni AC naponski kabel
Prikladan LED prikaz statusa
Aluminijsko kućište
Ugrađen rashladni ventilator i osigurač

7.6. Regulator

Odabran je regulator motora WS-3525 za DC motor bez četkica, 15VDC-50VDC, 25A [14] istog proizvođača kao i elektromotor kako bi priključci odgovarali. Masa regulator je oko 0,5 kg.



Slika 18. Prikaz regulatora

Tablica 14. Karakteristike regulatora [14]

Detalji proizvoda:	
Mjesto porijekla	Jiangsu, Kina
Ime	Smart automation
Broj modela	WS-3525
Tip motora	DC motor
Upotreba	Univerzalna

Tablica 15. Detaljan opis regulatora [14]

Detaljan opis proizvoda
Kontroler/driver za DC motor bez četkica 1.DC napon 15VDC-50VDC 2.PWM frekvencija preko 12KHZ
Električne karakteristike: (Tj=25°C)
1.DC napon 15VDC-50VDC 2.Max. jakost struje rada 25A 3.Izolacijski otpor tijekom 500MΩ
Radni uvjeti i parametri
1.Način hlađenja: prirodno 2. Uvjeti: izbjegavati čađu i korozivan zrak 3.temperatura: -20°C - +50°C 4.Vlaga: 40 - 89 % RH

7.7. Prekidač

Za uključivanje-isključivanje odabran je prekidač PV4 [15]. Podaci i dimenzije prekidača prikazane su na slikama 19 i 20.



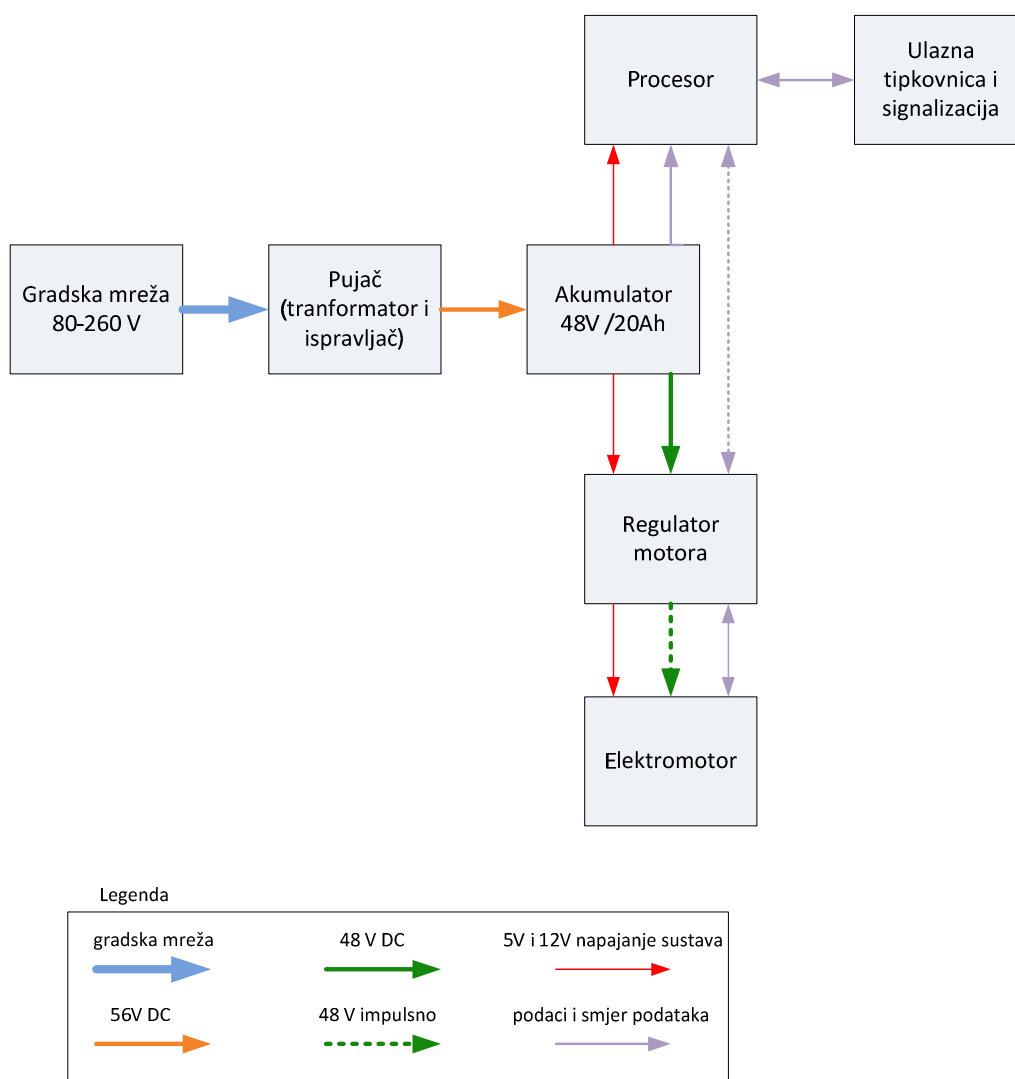
Slika 19. Prikaz odabranog prekidača

[illegible]

Slika 20. Karakteristike prekidača [15]

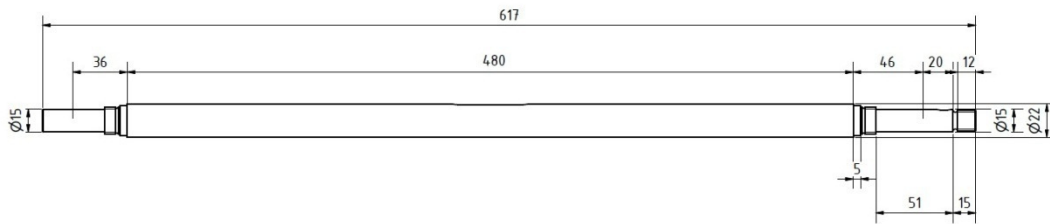
7.8. Strujni krug

Nakon odabira svih komponenti potrebnih za pogon, sastavlja se strujni krug shematski prikazan na slici 21. Ako sklopka nije uključena, a punjač je uključen na mrežu, baterija se puni. Punjač ima zaštitu od prepunjenja baterije, te se automatski isključuje kada je baterija puna. Dok je u modu punjenja motor se ne može upaliti.



Slika 21. Shema spajanja elektroničkih dijelova

7.9. Vratilo



Slika 22. Vratilo s dimenzijama

Vertikalne reakcije u osloncima

$$F_G \cdot \frac{562}{2} + F_{rem} \cdot (562 + 20) = F_{AV} \cdot 562 \rightarrow F_{AV} = 38,33 \text{ N} \quad (12)$$

$$F_{AV} + F_{BV} = F_G + F_{rem} \rightarrow F_{BV} = 6,8 \text{ N} \quad (13)$$

$$M_V = F_{BV} \cdot \frac{L}{2} = 6,8 \cdot \frac{562}{2} = 1910,8 \text{ Nmm} \quad (14)$$

Gdje je:

$m_V = 1,6 \text{ [kg]}$ - masa vratila

$m_{rem} = 3 \text{ [kg]}$ - masa remenice

$F_G = m_V \cdot g = 1,6 \cdot 9,81 = 15,7 \text{ [N]}$ - težina vratila

$F_{rem} = m_{rem} \cdot g = 3 \cdot 9,81 = 29,43 \text{ [N]}$ - težina remenice

$L = 562 \text{ [mm]}$ - duljina vratila između oslonaca

Horizontalne reakcije u osloncima

$$R_2 = \frac{F_0 \cdot (L + l)}{L} = \frac{150,72 \cdot (562 + 20)}{562} = 156,1 \text{ N} \quad (15)$$

$$R_1 = F_0 - R_2 = 150,72 - 156,1 = -5,38 \text{ N} \quad (16)$$

$$M_{HA} = R_1 \cdot L = 5,38 \cdot 562 = 3023,56 \text{ Nmm} \quad (17)$$

$$M_H = R_1 \cdot \frac{L}{2} = 5,38 \cdot \frac{562}{2} = 1511,78 \text{ Nmm} \quad (18)$$

Gdje je:

R_1, R_2 [N] - horizontalne reakcije u osloncima

M_H [Nmm] - moment u osloncu

$F_o = \frac{T}{r_{rem}} = \frac{18840}{125} = 150,72$ [N] - obodna sila na remenici

$L = 550$ [mm] - duljina vratila između oslonaca

$l = 28$ [mm] - duljina vratila sa remenicom

Ukupna naprezanja

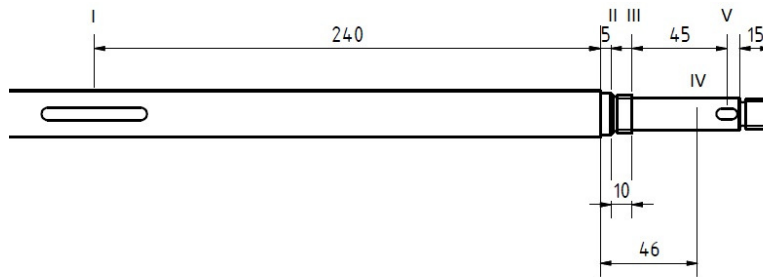
$$M = \sqrt{M_V^2 + M_H^2} = \sqrt{1910,8^2 + 1511,78^2} = 2436,52 \text{ Nmm} \quad (19)$$

$$T = 18840 \text{ Nmm} \quad (20)$$

$$M_{red} = \sqrt{M^2 + 3 \cdot T^2} = \sqrt{2436,52^2 + 3 \cdot 18840^2} = 32722,67 \text{ Nmm} \quad (21)$$

$$\sigma = \frac{M_{red}}{W} = \frac{M_{red}}{0,1 \cdot d^3} = \frac{32722,67}{0,1 \cdot 15^3} = 96,96 \text{ N/mm}^2 \quad (22)$$

Kontrolni proračun vratila u pojedinim presjecima obzirom na koncentracije naprezanja [10]



Slika 23. Prikaz pojedinih presjeka za koje se vrši kontrolni proračun

Momenti savijanja u pojedinim presjecima:

$$M_I = F_{AV} \cdot (46 + 240) + F_{rem} \cdot (240 + 5 + 10 + 45) = 38,33 \cdot 286 + 29,43 \cdot 300 = 19791,38 \text{ Nmm}$$

$$M_{II} = F_{AV} \cdot (46 - 5) + F_{rem} \cdot (45 + 10) = 38,33 \cdot 41 + 29,43 \cdot 55 = 3190,18 \text{ Nmm}$$

$$M_{III} = F_{AV} \cdot (46 - 15) + F_{rem} \cdot 45 = 38,33 \cdot 31 + 29,43 \cdot 45 = 2512,58 \text{ Nmm}$$

$$M_{IV} = F_{rem} \cdot 14 = 29,43 \cdot 14 = 412,02 \text{ Nmm}$$

Reducirani momenti u pojedinim presjecima:

$$M'_{redI} = \sqrt{M_I^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T)^2} = \sqrt{19791,38^2 + 0,75 \cdot (0,96 \cdot 18840)^2} = 25239,59 \text{ Nmm}$$

$$M'_{redII} = \sqrt{M_{II}^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T)^2} = \sqrt{3190,18^2 + 0,75 \cdot (0,96 \cdot 18840)^2} = 15984,86 \text{ Nmm}$$

$$M'_{redIII} = \sqrt{M_{III}^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T)^2} = \sqrt{2512,58^2 + 0,75 \cdot (0,96 \cdot 18840)^2} = 15863,53 \text{ Nmm}$$

$$M'_{redIV} = \sqrt{M_{IV}^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T)^2} = \sqrt{412,02^2 + 0,75 \cdot (0,96 \cdot 18840)^2} = 15668,69 \text{ Nmm}$$

Gdje je:

$T = 18840$ [Nmm] - moment uvijanja koji opterećuje promatrani presjek

$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73 \cdot \tau_{tDN}}$ - faktor čvrstoće materijala vratila obzirom na način njegovog opterećenja, odnosno naprezanja

Za zadani materijal Č. 0745, prema [10] slijedi :

$$\sigma_{fDN} = 350 \text{ N/mm}^2 ; \tau_{tDN} = 210 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73 \cdot \tau_{tDN}} = \frac{350}{1,73 \cdot 210} = 0,96$$

- Presjek I: utor za pero

$\beta_{kfI} = 2,0$ - faktor zareznog djelovanja kod savijanja vratila s utorom za pero oblika B

$\beta_{ktI} = f(\rho = 0,1 \dots 0,15 \cdot b) = 1,9$ - faktor zareznog djelovanja kod uvijanja vratila s utorom za pero

$$\rho = 0,125 \cdot b = 0,125 \cdot 6 = 0,75 \text{ mm}$$

$b = 6$ [mm] - širina pera

- Presjek II: promjena veličine presjeka

$$\beta_{kfII} = 1 + c_1 \cdot (\beta_{kf2} - 1) = 1 + 0,3 \cdot (2,25 - 1) = 1,375$$

$$c_1 = f\left(\frac{d_1}{d_2} = \frac{22}{20} = 1,1\right) = 0,3$$

$$\beta_{kf2} = f\left(\frac{\rho}{d_2} = \frac{0,5}{20} = 0,025 ; R_m = 700\right) = 2,25$$

$$\beta_{ktII} = 1 + c_2 \cdot (\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 0,55 \cdot (1,6 - 1) = 1,33$$

$$c_2 = f\left(\frac{d_1}{d_2} = \frac{22}{20} = 1,1\right) = 0,55$$

$$\beta_{kt1,4} = f\left(\frac{\rho}{d_2} = \frac{0,5}{20} = 0,025 ; R_m = 700\right) = 1,6$$

Gdje je:

$\rho = 0,5$ [mm] - polumjer na prijelazu

$R_m = 700$ [N/mm²] - za čelik Č. 0745

- Presjek III: promjena veličine presjeka

$$\beta_{kfIII} = 1 + c_1 \cdot (\beta_{kf2} - 1) = 1 + 0,3 \cdot (2,1 - 1) = 1,33$$

$$c_1 = f\left(\frac{d_2}{d_3} = \frac{20}{18} = 1,1\right) = 0,3$$

$$\beta_{kf2} = f\left(\frac{\rho}{d_3} = \frac{0,5}{18} = 0,027; R_m = 700\right) = 2,1$$

$$\beta_{ktIII} = 1 + c_2 \cdot (\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 0,79 \cdot (1,8 - 1) = 1,63$$

$$c_2 = f\left(\frac{d_2}{d_3} = \frac{20}{18} = 1,1\right) = 0,55$$

$$\beta_{kt1,4} = f\left(\frac{\rho}{d_3} = \frac{0,5}{18} = 0,027; R_m = 700\right) = 1,55$$

- Presjek IV: dosjed ležaja

$$\beta_{kfIV} = 2,0$$

$$\beta_{ktIV} = (60 \dots 70\%) \cdot \beta_{kfIV} = 1,3$$

- Presjek V: dosjed veće remenice na vratilu s perom

$$\beta_{ktV} = f(\rho = 0,1 \dots 0,15 \cdot b) = 1,9$$

$$\rho = 0,125 \cdot b = 0,125 \cdot 5 = 0,625 \text{ mm}$$

Kontrola pojedinih presjeka:

■ Presjek I:

$$M_{redI} = \sqrt{(M_I \cdot \beta_{kfl})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T \cdot \beta_{kti})^2} = \sqrt{(19791,38 \cdot 2,0)^2 + 0,75 \cdot (0,96 \cdot 18840 \cdot 1,9)^2} \\ = 49522,38 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{redI} = \frac{M_{redI}}{W_1} = \frac{M_{redI}}{0,1 \cdot d_1^3} = \frac{49522,38}{0,1 \cdot 22^3} = 46,5 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{postI} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{redI}} = \frac{350 \cdot 0,93 \cdot 0,9}{46,5} = 6,3 \geq S_{potr} = 2$$

zadovoljava

Gdje je:

$S_{potr} = f(TP \%, h_{bmax} \%) = 2 [-]$ - potrebna sigurnost

$b_1 = f(d_1 = 22) = 0,93 [-]$ - faktor veličine strojnog dijela kod savijanja i uvijanja

$b_2 = f(R = 8 < 10 \mu m) = 0,9 [-]$ - faktor kvalitete površinske obrade

■ Presjek II:

$$M_{redII} = \sqrt{(M_{II} \cdot \beta_{kflII})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T \cdot \beta_{ktiII})^2} \\ = \sqrt{(3190,18 \cdot 1,375)^2 + 0,75 \cdot (0,96 \cdot 18840 \cdot 1,33)^2} = 20829,38 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{redII} = \frac{M_{redII}}{W_2} = \frac{M_{redII}}{0,1 \cdot d_2^3} = \frac{20829,38}{0,1 \cdot 20^3} = 26,04 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{postII} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{redII}} = \frac{350 \cdot 0,95 \cdot 0,9}{26,04} = 11,49 \geq S_{potr} = 2$$

zadovoljava

$$b_1 = f(d_2 = 20) = 0,95 ; b_2 = f(R = 8 < 10 \mu m) = 0,9$$

■ Presjek III:

$$M_{redIII} = \sqrt{(M_{III} \cdot \beta_{kfIII})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T \cdot \beta_{ktIII})^2}$$

$$= \sqrt{(2512,58 \cdot 1,33)^2 + 0,75 \cdot (0,96 \cdot 18840 \cdot 1,63)^2} = 25748,91 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{redIII} = \frac{M_{redIII}}{W_3} = \frac{M_{redIII}}{0,1 \cdot d_3^3} = \frac{25748,91}{0,1 \cdot 18^3} = 44,15 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{postIII} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{redIII}} = \frac{350 \cdot 0,97 \cdot 0,9}{44,15} = 6,9 \geq S_{potr} = 2$$

zadovoljava

$$b_1 = f(d_3 = 18) = 0,97 ; b_2 = f(R = 8 < 10 \mu m) = 0,9$$

■ Presjek IV:

$$M_{redIV} = \sqrt{(M_{IV} \cdot \beta_{kfIV})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T \cdot \beta_{ktIV})^2}$$

$$= \sqrt{(412,02 \cdot 2,0)^2 + 0,75 \cdot (0,96 \cdot 18840 \cdot 1,3)^2} = 20378,93 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{redIV} = \frac{M_{redIV}}{W_4} = \frac{M_{redIV}}{0,1 \cdot d_4^3} = \frac{20378,93}{0,1 \cdot 15^3} = 60,38 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{postIV} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{redIV}} = \frac{350 \cdot 0,98 \cdot 0,9}{60,38} = 5,11 \geq S_{potr} = 2$$

zadovoljava

$$b_1 = f(d_4 = 15) = 0,98 ; b_2 = f(R = 8 < 10 \mu m) = 0,9$$

■ Presjek V:

$$T_{tv} = \frac{T}{W_p} = \frac{T}{0,2 \cdot d_4^3} = \frac{18840}{0,2 \cdot 15^3} = 27,91 \text{ N/mm}^2$$

7.10. Odabir remenica

Broj okretaja motora 2000 min^{-1}

Prijenosni omjer (odabran) $i = 4$

Promjer manje remenice odabran prema [9]: $D_1 = 63 \text{ mm}$

Promjer veće remenice odabran prema [9]: $D_2 = 250 \text{ mm}$

Stvarni prijenosni omjer:

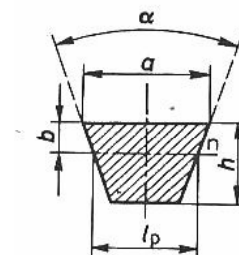
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{250}{63} = 3,96 \quad (23)$$

zadovoljava

Odabran normalni klinasti remen Z

Tablica 16. Oznaka remena prema [16]

Oznaka profila	a	h	b	l_p
Z	10	6	2,4	8,5



n — neutralna os
 $\alpha = 40 \pm 1^\circ$

Slika 24. Dimenzije remena

Obodna brzina:

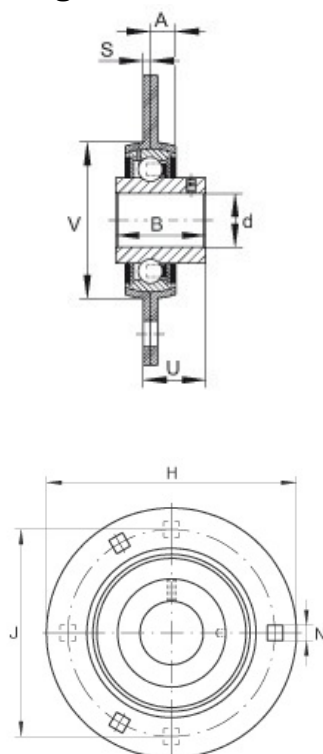
$$v = \frac{D_1 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{0,063 \cdot \pi \cdot 2000}{60} = 6,6 \text{ m/s} \quad (24)$$

7.11. Ležaj

Prema dimenzijama i brzini vrtnje vratila odabran je ležaj s kućištem RRY15-VA [17]. Karakteristike ležaja prikazane su u tablici 16.

Tablica 17. Karakteristike ležaja

Housing units RRY15-VA



d	15 mm	
H	81 mm	
B	25 mm	
A	7 mm	
J	63,5 mm	
N	7,1 mm	
S	2 mm	
U	15,4 mm	
V	48 mm	
m	0,2 kg	Masa
C_{0r}	0 N	
C_r	9800 N	Osnovno dinamičko opterećenje, radijalno
C_{0r}	4750 N	Osnovna statičko opterećenje, radijalno
	FLAN40-MSB-VA (2 X)	Oznaka kućišta
	GYE15-KRR-B-VA	Oznaka ležaja
		Kućište i radijalni kuglični umetak mora se naručiti odvojeno.

Za ležaj je bitno prekontrolirati statičku i dinamičku nosivost. Statička nosivost, C_0 je ono opterećenje koje izaziva deformaciju od 0,01% promjera valjnog tijela. Za svaki tip ležaja ova vrijednost se nalazi u tablicama. Dinamička nosivost, C_1 je ono opterećenje uz koje 90% ležajeva istog tipa postigne jedan milijun okreta, bez pojave oštećenja uslijed zamora.

$$C_0 = 4750 \text{ N}$$

$$C_0 = 4750 \text{ N} > F_r = F = 94,18 \text{ N} \quad (25)$$

zadovoljava

Dinamička nosivost se određuje pomoću slijedećeg izraza:

$$C_1 = 9800 \text{ N}$$

$$C'_1 = F_r \cdot \frac{f_l}{f_n \cdot f_l} = 94,81 \cdot \frac{2,72}{1 \cdot 0,41} = 628,9 \text{ N} \quad (26)$$

Gdje je:

$f_l = 1 [-]$ - faktor utjecaja temperature (za temperature ispod 150°)

$$f_l = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}} = \sqrt[3]{\frac{10000}{500}} = 2,72 [-] \text{ - faktor vijeka trajanja}$$

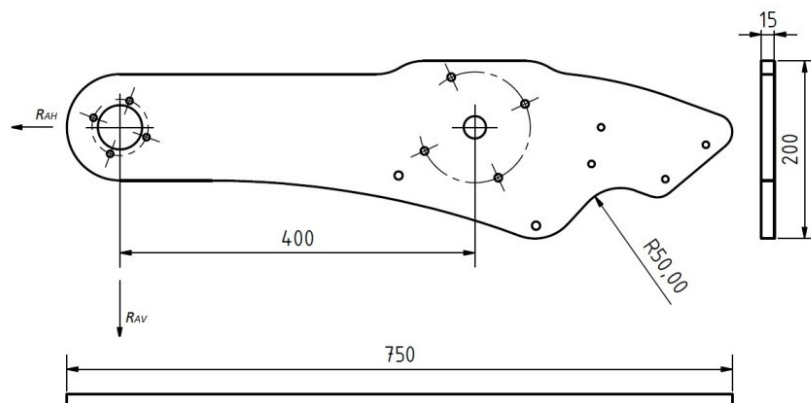
$L_h = 10000 \text{ [h]}$ - željeni vijek trajanja ležaja u satima

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{100}{\frac{3}{n}}} = \sqrt[3]{\frac{100}{\frac{3}{472,7}}} = 0,41 [-] \text{ - faktor brzine vrtnje}$$

$$C_1 > C'_1$$

zadovoljava

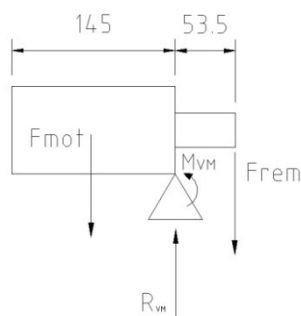
7.12. Nosač elektromotora



Slika 25. Dimenzije uzdužnog nosača motora

Da bi se izračunala ukupna naprezanja, potrebno je izračunati naprezanja na mjestu nosača gdje se nalazi elektromotor.

Vertikalna ravnina:



$$R_{VM} = F_{motora} + F_{rem2} = 63,77 + 4,81 = 68,6 \text{ N} \quad (27)$$

$$M_{VM} = F_{motora} \cdot \frac{145}{2} - F_{rem2} \cdot 53,5 = 63,77 \cdot \frac{145}{2} - 4,81 \cdot 53,5 = 4366 \text{ Nmm} \quad (28)$$

Horizontalna ravnina:



$$R_{HM} = F_{o\ rem2} = 598,1\text{ N} \quad (29)$$

$$M_{VM} = F_{o\ rem2} \cdot 53,5 = 31998,4\text{ Nmm} \quad (30)$$

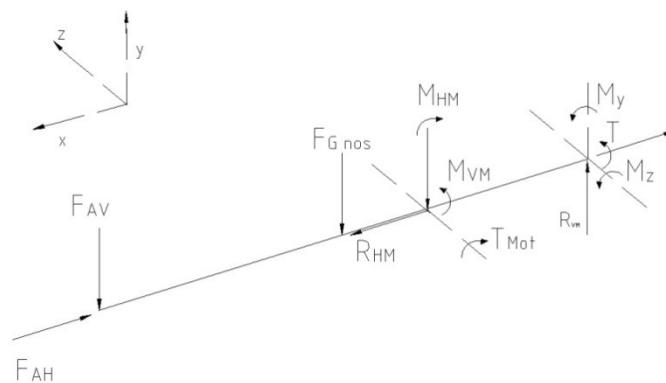
Gdje je:

$$F_{motora} = m_{motora} \cdot g = 6,5 \cdot 9,81 = 63,77\text{ [N]} - \text{težina motora}$$

$$F_{rem2} = m_{rem2} \cdot g = 0,49 \cdot 9,81 = 4,81\text{ [N]} - \text{težina manje (pogonske) remenice}$$

$$F_{o\ rem2} = \frac{T}{r_{rem}} = \frac{18840}{31,5} = 598,1\text{ [N]} - \text{obodna sila na remenici}$$

Nosač se promatra kao uklješteni dužine $l_{nosača} = 661\text{ mm}$.



$$\sum M_x = 0$$

$$T = M_{VM} = 4366\text{ Nmm} \quad (31)$$

$$\sum M_y = 0$$

$$M_y = M_{HM} = 31998,4 \text{ Nmm} \quad (32)$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_N = R_{HM} - R_{AH} = 598,1 - 156,1 = 442 \text{ N} \quad (33)$$

Gdje je:

$R_{AH} = R_2 = 156,1 \text{ [N]}$ - horizontalna reakcija u osloncu A

$F_{o\text{ rem}2} = \frac{T}{r_{rem}} = \frac{18840}{31,5} = 598,1 \text{ [N]}$ - obodna sila na remenici

$$\sum M_z = 0$$

$$R_2 \cdot 661 + F_{nos} \cdot \frac{661}{2} + R_{VM} \cdot (661 - 400) - T_{motora} = M_z \quad (34)$$

$$M_z = 156,1 \cdot 661 + 38,06 \cdot \frac{661}{2} + 68,6 \cdot (661 - 400) - 18840 = 114826 \text{ Nmm} \quad (35)$$

Gdje je:

$F_{nos} = m_{nos} \cdot g = 3,88 \cdot 9,81 = 38,06 \text{ [N]}$ - težina nosača

$T_{motora} = 18840 \text{ [Nmm]}$ - okretni moment motora

Naprezanje nosača:

$$\sigma_1 = \frac{F_N}{A} = 0,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{M_z}{W_1} = 1,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_3 = \frac{M_y}{W_2} = 4,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 5,6 \text{ N/mm}^2 \quad (36)$$

$$\tau = \frac{T}{W_t} = \frac{18840}{58636,36} = 0,32 \text{ N/mm}^2 \quad (37)$$

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{5,6^2 + 3 \cdot 0,32^2} = 5,6 \text{ N/mm}^2 \quad (38)$$

Gdje je:

$$F_N = 442 \text{ [N]}$$

$$A = h \cdot b = 200 \cdot 15 = 3000 \text{ mm}^2 - \text{površina nosača}$$

$$h = 200 \text{ [mm]} - \text{visina nosača}$$

$$b = 15 \text{ [mm]} - \text{debljina nosača}$$

$$M_z = 114826 \text{ [Nmm]}$$

$$W_1 = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{15 \cdot 200^2}{6} = 100000 \text{ [mm}^3] - \text{moment otpora presjeka}$$

$$M_y = 31998,4 \text{ [Nmm]}$$

$$W_2 = \frac{h \cdot b^2}{6} = \frac{200 \cdot 15^2}{6} = 7500 \text{ [mm}^3] - \text{moment otpora presjeka}$$

$$W_t = \frac{c_1}{c_2} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1,29}{0,99} \cdot 200 \cdot 15^2 = 58636,36 \text{ [mm}^3]$$

$$c_1 = \frac{1}{3} \left(1 - \frac{0,630}{n} + \frac{0,052}{n^5} \right) = \frac{1}{3} \left(1 - \frac{0,630}{13,33} + \frac{0,052}{13,33^5} \right) = 1,29$$

$$c_2 = 1 - \frac{0,65}{1+n^3} = 1 - \frac{0,65}{1+13,33^3} = 0,99$$

$$n = \frac{h}{b} = \frac{200}{15} = 13,33$$

Dopušteno naprezanje za aluminijску leguru 6061-T6 (AlMg1SiCu):

$R_{p\ 0,2} = 240 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ - naprezanje tečenja

$$\sigma_{dop} = \frac{R_{p\ 0,2}}{2} = \frac{240}{2} = 120 \text{ N/mm}^2$$

$S = 2 \text{ [-]}$ - sigurnost

$$\sigma \leq \sigma_{dop}$$

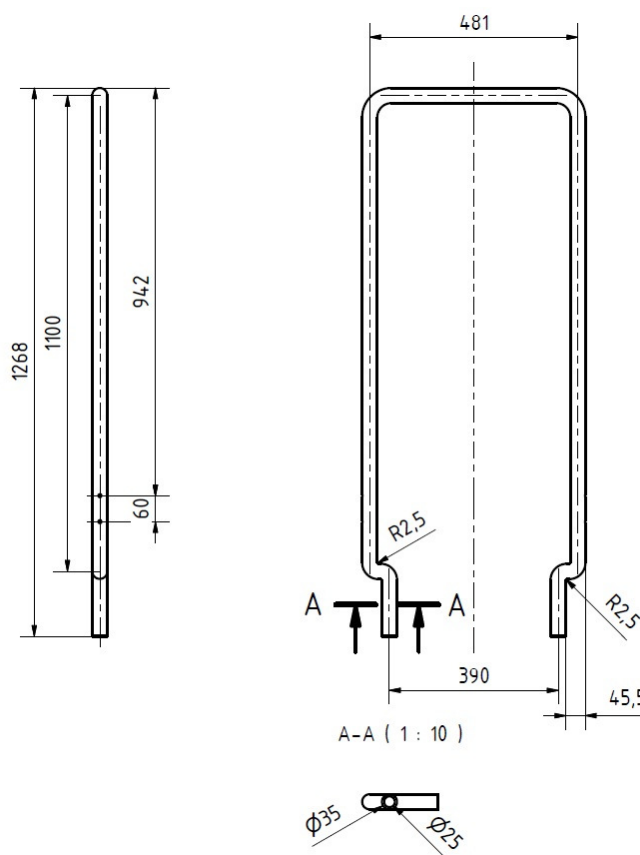
zadovoljava

7.13. Ručka

Materijal ručke je bešavna cijev od nehrđajućeg čelika (inox) oznake X15CrNiSi [18]. Vanjski promjer cijevi je 35 mm a unutarnji 25 mm, kvalitete W.Nr. 1.4541 (AISI 321). Ovakav materijal sadrži titan koji služi kao stabilizirajući element i daje otpornost na interkristalnu koroziju.

Tablica 18. Karakteristike cijevi [18]

	Vlačna čvrstoća R_m (N/mm ²)	Granica razvlačenja $R_{p0.2}$ (N/mm ²)	Izduženje %	Tvrdoća HB
1.4541	500 - 700	200	30 - 40	55 - 85



Slika 26. Dimenzije ručke

Oslonci se nalaze na $l = 942$ mm, s obzirom da je ručka učvršćena na nosače. Kada bi se na ručku naslonila osoba mase 80 kg, na ručki bi se javile sile u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini.

Reakcija u osloncu:

$$R_1 = R_2 = \frac{800}{2} = 400 \text{ N} \quad (39)$$

Moment na sredini gornjeg nosača:

$$M = R_1 \cdot \frac{L_{RUČKE}}{2} = 400 \cdot \frac{481}{2} = 96200 \text{ Nmm} \quad (40)$$

Izvijanje ručke:

$$\sigma_k = \pi^2 \frac{E \cdot I}{l_0^2} = \pi^2 \frac{210000 \cdot 54487}{1884^2} = 31816,33 \text{ N/mm}^2 \quad (41)$$

Gdje je:

σ_k [N/mm²] - kritično naprezanje

$E = 210000$ [N/mm²] - modul elastičnosti za čelike

I [mm⁴] - moment tromosti

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} (35^4 - 25^4) = 54487 \text{ mm}^4$$

$l_0 = 2l = 2 \cdot 942 = 1884 \text{ mm}$ - slobodna duljina izvijanja za dužinu ručke $l = 942 \text{ mm}$

Poprečni presjek:

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (35^2 - 25^2) = 771,23 \text{ mm}^2 \quad (42)$$

$$\lambda > 105 \rightarrow \lambda = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \frac{1884}{\sqrt{\frac{54487}{771,26}}} = 224,15 > 105 \quad (43)$$

Gdje je:

A [mm²] - površina poprečnog presjeka

λ - vitkost nosača

Tlačno naprezanje u štapu mora biti manje od:

$$\sigma_{t,dop} = \frac{\sigma_k}{S} = \frac{31816,33}{5} = 6363,27 \text{ N/mm}^2 \quad (44)$$

Gdje je:

$S = 5$ [-] - faktor sigurnosti od izvijanja za čelike

Tlačno naprezanje:

$$\sigma_t = \frac{F}{A} = \frac{400}{771,23} = 0,52 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{t,dop} \quad (45)$$

zadovoljava

Moment otpora presjeka:

$$W = 0,1 \cdot \frac{35^4 - 25^4}{35} = 3171,43 \text{ mm}^3 \quad (46)$$

Gdje je:

$D = 35$ [mm] - vanjski promjer cijevi

$d = 25$ [mm] - unutarnji promjer cijevi

Normalno naprezanje uslijed savijanja u gornjem nosaču:

$$\sigma_f = \frac{M}{W} = \frac{96200}{3171,43} = 30,33 \text{ N/mm}^2 \quad (47)$$

$$\sigma_f = \sigma_m = R_{p0,2} = 200 \text{ MPa} = 200 \text{ N/mm}^2 \quad (48)$$

$$\sigma_{f,dop} = \frac{\sigma_m}{S} = \frac{200}{1,5} = 133,33 \text{ N/mm}^2 > \sigma_f = 30,33 \text{ N/mm}^2 \quad (49)$$

zadovoljava

Gdje je:

$S = 1,5$ [-] - sigurnost

Kontrola II:

$F = 400$ N

Duljina kraka na kojem se vrši savijanje:

$$X = 942 \cdot \sin 70^\circ = 885,19 \text{ mm} \quad (50)$$

Moment:

$$M = F \cdot X = 400 \cdot 885,19 = 354076 \text{ Nmm} \quad (51)$$

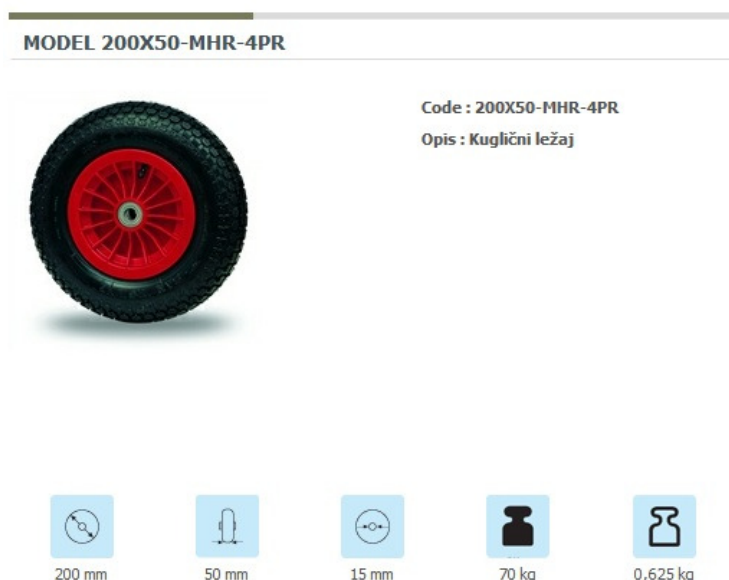
Naprezanje:

$$\sigma_f = \frac{M}{W} = \frac{354076}{3171,43} = 111,65 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{f,\text{dop}} = 133,33 \text{ N/mm}^2 \quad (52)$$

zadovoljava

7.14. Kotači

Odabran je kotač MODEL 200X50-MHR-4PR [19] proizvođača Sinkro, čije specifikacije su vidljive na slici 27. Kotač sadrži ležaj i pričvršćuje se na predviđeno mjesto na osovini na kojoj se nalazi i ručka.



Slika 27. Odabrani kotač

7.15. Lopatice

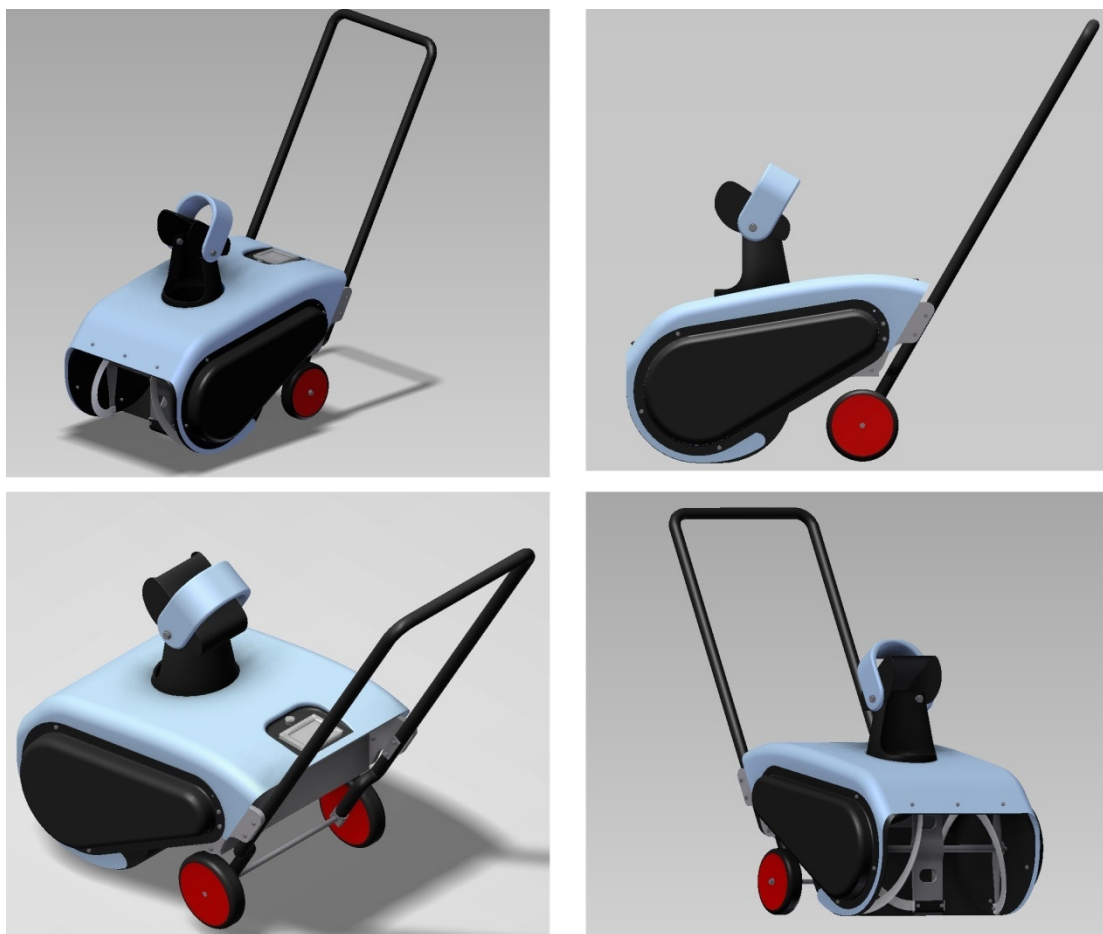
Za materijal lopatica odabrana je TICOR guma [20], koja pruža poboljšanu i jeftinu alternativu za mnoge gume i plastike. TICOR podnosi niske temperature, otporan je na oštećenja i pruža potrebnu čvrstoću za čišćenje snijeg u najtežim zimskim uvjetima.



Slika 28. Primjena i izgled TICOR gume

8. Prikaz 3D modela

Model je nastao kao razrada rješenja u obliku koncepta 2 (vidi str. 23). Električna energija akumulira se u baterijskom paketu koji pogoni istosmjerni elektromotor bez četkica. Akumulatorska baterija omogućuje da stroj radi malo manje od jedan sat, što bi trebalo biti dovoljno da korisnik očisti željenu površinu. Elektromotor se nalazi na nosaču na koji se vijcima spaja ručka na jednom kraju i vratilo s lopaticama na drugom kraju. Nosač ujedno služi kao nosivi dio zaštitnog poklopca. Materijal poklopca stroja, štitnika za lopatice, žlijeba i usmjerivača snijega je polietilen visoke gustoće (PE-HD). Za jednostavno rukovanje i regulaciju stroja, odabrana je tipkovnica sa folijom dok se uključivanje i isključivanje stroja vrši jednostavnim prekidačem. Na taj način se složenost upotrebe stroja svela na minimalnu dok se za odabir brzina brine procesor programiran tako da regulira izlazu brzinu vrtnje lopatica. Model stroja za čišćenje snijega i leda vidljiv je na sljedećoj slici.



Slika 29. Prikaz modela

Gibanje stroja omogućuju profilirani pneumatski kotači kako bi prijanjanje stroja na snježnu podlogu bilo potpuno. Snijeg i led prihvaćaju lopatice obložene TICOR gumom vezane za vratilo vijcima. TICOR je gumeni materijal ojačan sintetičkim vlaknima ili čelikom, izrađen procesom recikliranja guma. Iako nije preporučljivo čistiti led, konstrukcija spirala i lopatica omogućuju takvu djelatnost. U tom slučaju obloga na spiralama i lopaticama će se prije istrošiti te će ju biti potrebno zamijeniti. Stroj je projektiran tako da baca snijeg do 5 m visine. Zahtjev da konstrukcija bude lagana za transport i manevriranje je ispunjen s obzirom da stroj teži svega 56,9 kg, što ga svrstava u skupinu lakših strojeva ovakve vrste, te direktno postaje konkurentan postojećim bacačima na tržištu. Stroj je lagan, kompaktne izvedbe, ali vrlo čvrst zahvaljujući polietilenskom kućištu. Ukoliko postoji mogućnost za realizacijom stroja, potrebno je napraviti ekonomsku bilancu materijala, proizvodnog procesa te vremena izrade kako bi se odredila cijena stroja na tržištu.



Slika 30. Fotomontaža stroja za čišćenje snijega i leda u okolini

Tablica 19. Karakteristike stroja

Detalji o proizvodu:	
Visina čišćenja snijega	30 cm
Vrsta snijega	Suhi snijeg, umjereno vlažni
Širina čišćenja	50 cm
Tip površine za čišćenje	Asfalt
Dužina rada	50 min
Masa	56,9 kg
Dimenzije [DxŠxV]	1302x648x522 mm + [V] 699 mm uključujući ručku

9. Upute za upotrebu

Nakon što korisnik nabavi stroj za čišćenje snijega i leda, trebao bi se pridržavati osnovnih mjera sigurnosti:

- Čvrsto držati stroj za ručke s obje ruke kako bi kontrola bila potpuna.
- Preporuča se korisniku obuća s đonom protiv klizanja kako bi se izbjegao pad ukoliko se na asfaltiranoj površini pod snijegom nalazi led.
- Paziti na rupe ili rubnjake koje bi mogli uzrokovati gubitak ravnoteže i pad.
- Namjestiti žlijeb za izbacivanje snijega tako da se izbjegne korisnik, prolaznici, prozori i ostali objekti u blizini koji bi mogli nastradati prilikom izbacivanja snijega.
- Ukoliko se žlijeb začepi, stroj prvo treba isključiti, a potom predmetom poput štapa, odčepiti žlijeb. Nikako se ne smije gurati ruka u žlijeb, pogotovo dok stroj radi kako ne bi došlo do ozbiljnih povreda.
- Za učinkovito čišćenje, poželjno je snijeg očistiti prije nego što se zaledi ili postane vlažan.
- Kada je temperatura u porastu, snijeg postaje vlažan i težak, stoga treba smanjiti brzinu okretanja lopatica.
- Ukoliko je visina snijega viša od one koju stroj može zahvatiti, bacač treba pomicati naprijed nazad kako bi se postupno očistio snijeg.
- Ukoliko se gumena zaštita koja štiti korisnika od bacanja snijega po nogama istroši, treba ju zamijeniti.
- Stroj se nikako ne smije upotrebljavati na krovovima.
- Kako baterija ne bi izgubila svojstva, stroj bi trebalo periodički napuniti bez obzira na godišnje doba. Ukoliko korisniku to predstavlja problem, baterija se može tokom godine koristiti na drugim uređajima, poput elektro bicikla.
- Stroj nikako ne smiju koristiti djeca kako ne bi došlo do povreda.



Slika 31. Neke mjere sigurnosti pri upotrebi stroja za čišćenje snijega i leda [21]

10. Smjernice za daljnji razvoj

Jednofazni elektromotorni stroj za čišćenje snijega i leda već postoji, međutim cilj rada bio je projektirati stroj koji će biti novost na tržištu. Inovativnost proizvoda jest baterija koja opskrbljuje stroj električnom energijom tako da se stroj može upotrebljavati na bilo kojem području gdje eventualno nema ili je nepraktičan pristup električnoj mreži. Ovako konstruiran stroj bio bi osnovna verzija koja bi služila kao baza za daljnji razvoj. Stroj je predimenzioniran kako bi se zadovoljile potrebne sigurnosti, što znači da bi se u budućnosti preoblikovanjem pojedinih dijelova, masa stroja mogla dosta smanjiti. Većina potrošača je osjetljiva na cijenu pri odabiru proizvoda a negativna karakteristika postojećih strojeva je upravo cijena, koja može biti i do 8.000,00 kn. Da bi stroj ostao konkurentan na tržištu, potreban je daljnji razvoj kojim bi se poboljšala kvaliteta i dodale nove karakteristike proizvoda.

Modifikacija stroja obuhvaća:

- Poboljšanje osobina proizvoda - dodavanje novih značajki koje utječu na veću raznolikost, pouzdanost, sigurnost ili prikladnost, poput nazubljenog noža za lomljenje leda, materijali od ugljičnih vlakana, sklapanje ručke, svijetla, ...
- Poboljšanje stila - poboljšanje estetske privlačnosti proizvoda.
- Modularnost - nastavci koji bi učinili stroj upotrebljivim tokom cijele godine.

Nastavak:

- za čišćenje lišća u jesen



- za košnju trave



11. Zaključak

Rad prikazuje proces razvoja stroja za čišćenje snijega i leda, od analize tržišta, analize funkcija, izrade funkcijske dekompozicije, morfološke matrice, vrednovanja koncepta do razrade i konstruiranja proizvoda. Definirali su se postojeći problemi ovakvih strojeva tako da krajnji proizvod postaje odgovor na neke od problema kako bi se udovoljilo potrebama društva i tržišta. Odluka o jednofaznom elektromotornom bacaču snijega nametnula se sama po sebi s obzirom na klimatske značajke Hrvatske gdje se količina snježnih padalina kreće između 5 - 20% od ukupne količine padalina. To znači da su predviđeni uvjeti rada budućeg stroja površine prekrivene snijegom visine do 30 cm. Kroz razvoj stroja pokušali su se ostvariti približno svi definirani ciljevi. Problem buke riješio se odabirom elektromotora i jednofaznog načina izbacivanja snijega. Inovativnost stroja je akumulatorska baterija koja omogućuje stroju neograničeni radijus kretanja te korisnik više ne treba brinuti da li je električni kabel dovoljno dug da očisti željenu površinu. Masa stroja je dovoljna za prijanjanje na snježnu površinu i učinkovito čišćenje te stroj nije pretjerano težak za transport i manipulaciju. Mehanizam za sakupljanje i usmjeravanje snijega prema žlijebu je u obliku lopatica i spirala obloženih TICOR gumom te stroj može lomiti i čistiti led, iako nije preporučljivo. Stroj je namijenjen upotrebi na asfaltiranim podlogama.

Pri konstruiranju uređaja korišteni su standardni i lako dobavljeni dijelovi. Vodila se briga o tome da uređaj bude što lakši, ali opet da zadovolji osnovna opterećenja koja se javljaju u radu. Velika pozornost dana je jednostavnosti izrade kako bi stroj imao što manju ukupnu cijenu.

Tijekom razvoja novih proizvoda rijetko se samo jedna osoba bavi istraživanjem, razradom, koncipiranjem i konstruiranjem samog proizvoda tako da je prilikom ovog projekta ostavljeno prostora za buduća unapređenja i nadogradnje koje su u radu isto tako opisane.

Prilozi

1. CD data disk
2. Tehnička dokumentacija

Literatura

- [1] <http://www.gilsonsnowblowers.com/snowhistory.html> (20.06.2012.)
- [2] <http://snowblowersandthrowers.com/> (20.06.2012.)
- [3] K. Zaninović, M. Gajić-Čapka, B. Androić, I. Džeba, D. Dujmović: *Određivanje karakterističnog opterećenja snijegom*, GRAĐEVINAR **53** (2001.) 6, 363-378
- [4] *Analiza djelovanja (opterećenja) - Eurokod*, Sveučilište u Splitu, Građevinsko - arhitektonski fakultet, Katedra za metalne i drvene konstrukcije, Kolegij: Metalne konstrukcije (prezentacija)
- [5] <http://www.asha.org/public/hearing/noise/> (20.06.2012.)
- [6] H. Birkhofer: *The Future of Design Methodology*, Springer, 2010.
- [7] B. Križan: *Proces konstruiranja*, Metodičko konstruiranje, Tehnički fakultet Rijeka, 2007.
- [8] M. Štorga: *Funkcijska dekompozicija proizvoda*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Katedra za osnove konstruiranja, Kolegij: Razvoj proizvoda, 2004. (bilješke s predavanja)
- [9] Karl Heinz Decker: *Elementi strojeva*, Golden marketing Tehnička knjiga, Zagreb, 2006.
- [10] Z. Horvat: *Vratilo* (proračun)
- [11] http://smartautomation.en.alibaba.com/product/509561022-210701094/110SW_BIG_torque_brushless_dc_motor_with Rated torque 2_5Nm_7_5N_m.html (20.06.2012.)
- [12] <http://www.pingbattery.com/servlet/the-2/lifepo4-lithium-ion-phosphate/Detail> (20.06.2012.)
- [13] <http://www.pingbattery.com/servlet/the-26/Charger-for-48V-51.2V/Detail> (20.06.2012.)
- [14] http://smartautomation.en.alibaba.com/product/512019943-211876570/WS_3515_brushless_dc_motor_controller_driver_15VDC_50VDC_15A.html?tracelog=cgsotherproduct1 (20.06.2012.)
- [15] <http://www.e-switch.com/product/tabid/96/productid/75/sename/pv4-series-illuminated-sealed-long-life-anti-vandal-switches/default.aspx#> (20.06.2012.)
- [16] B. Kraut: *Strojarski priručnik*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1988.
- [17] http://medias.ina.de/medias/hp.ec.br.pr/RRY..-VA*RRY15-VA (20.06.2012.)
- [18] <http://www.strojopromet.com/inox-cijevi/> (20.06.2012.)
- [19] <http://www.sinkro.hr/proizvod3.php?id=586> (20.06.2012.)
- [20] <http://www.lakincorp.com/products/default.html> (20.06.2012.)
- [21] <http://www.toro.com/en-us/pages/default.aspx> (20.06.2012.)
- [22] http://www.fullermetric.com/products/pin/din6885parallel_key.aspx (20.06.2012.)
- [23] M. Opalić, M. Kljajin, S. Sebastijanović: *Tehničko crtanje*, Sveučilišni udžbenik, Zrinski d.d., Čakovec, 2003.

